Conseil des sciences du Canada

Science Council of Canada

SÉRIE « STRATÉGIES SECTORIELLES EN MATIÈRE DE TECHNOLOGIE »

N° 14

L'électronique au Canada

SÉRIE «STRATÉGIES SECTORIELLES EN MATIÈRE DE TECHNOLOGIE»

N° 14 L'ÉLECTRONIQUE AU CANADA

Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe
Ottawa (Ontario)
Canada K1P 5M1

N° de catalogue : SS25-1/14-1992F
N° d'ISBN : 0-662-97355-0
© Ministre des Approvisionnements et Services, 1992

93-00132/

Table des matières

Faits saillants vi
Historique de la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» xi
Commentaire sur la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» et sur les objectifs R-D xii
Liste des rapports de la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» xiv
Remerciements xv

Introduction 1

Aperçu du secteur de l'électronique : des semi-conducteurs aux systèmes 3
- L'électronique : définition et description 3
  - Les composantes 3
  - Les pièces d'équipement 4
  - Les systèmes 4
- Attraction des besoins et poussée technologique 5
- Importance économique du secteur 8
- Le marché et le secteur canadiens 9

Survol de l'industrie et du marché mondiaux des semi-conducteurs 16
- Le marché 16
- Nouvelles applications 19
- L'industrie 20
- Investissements et stratégies de R-D 24
  - Japon 24
  - États-Unis 26
  - Europe 26
  - Coopération globale 27

Survol de l'industrie et du marché canadiens des semi-conducteurs 28
- Le marché 28
  - Perspectives commerciales 29
- L'industrie 31
  - Évolution de l'industrie 31
- Stratégies en matière de R-D et de technologie 31
  - R-D dans l'industrie 31
- R-D dans le secteur public 34
- Accéder à la technologie mondiale 34
- Stratégies en matière de technologie 36

Perspectives et stratégies de croissance du secteur canadien de l'électronique 37
- Garantir l'accès à la technologie mondiale 37
- En faveur d'une approche privilégiant les systèmes intégrés 37
  - La fabrication par rapport à la conception et à l'application 38
  - Application de la micro-électronique aux systèmes fonctionnels 38
- Créneaux commerciaux 39
  - Circuits intégrés propres à une application 39
  - Télécommunications 40

Systèmes industriels 40
Systèmes automobiles 40
Systèmes militaires et systèmes de défense 40
Autres 42
Financement — le capital de risque 42

Nouvelle technologie et stratégies de R-D pour le secteur canadien de l'électronique 46
Étude de cas : la Corée du Sud — un exemple invraisemblable pour l'industrie canadienne 46
Bonne capacité concurrentielle grâce à la coopération 46
Réseaux de courtage en technologie pour l'industrie des semi-conducteurs 49
Infrastructure virtuelle : modèle de coopération régionale en micro-électronique 49
Politiques et interventions gouvernementales 50

Annexe — Cadre d'analyse des stratégies matière de technologie 52

Notes 54

Tableaux et figures

Tableau 1. Production et consommation de produits électroniques, 1984 9
Tableau 2. Pourcentage des emplois liés à l'électronique dans le secteur manufacturier, 1984 10
Tableau 3. Sommaire de la consommation canadienne de produits électroniques, 1987 et 1988 11
Tableau 4. Sommaire des importations et des exportations canadiennes de produits électroniques, 1987 et 1988 12
Tableau 5. Dépenses en R-D engagées par le secteur canadien de l'électronique en dollars courant, 1983-1988 13
Tableau 6. Dépenses en R-D engagées par le secteur canadien de l'électronique en dollars constants, 1983-1988 14
Tableau 7. Dépenses en R-D électronique au Canada exprimées en pourcentage du chiffre d'affaires des entreprises, 1983-1988 14
Tableau 8. Le marché opto-électronique américain, 1988-1994 18
Tableau 9a. Le marché américain des circuits opto-électroniques, 1988-1994 22
Tableau 9b. Parts et taux de croissance moyen composé (TCMC) par segments du marché, 1988-1994 22
Tableau 10. Estimation des ventes de laser au États-Unis, 1989 23
Tableau 11. Principaux fabricants de semi-conducteurs sur le marché mondial, 1988 24
Tableau 12. Liste partielle des actionnaires de NEC, 1986 25
Tableau 13. Créneaux de l'industrie canadienne de l'électronique 29
Tableau 14. Ventes prévues de composantes micro-électroniques de quelques grandes sociétés canadiennes, 1990 et 1995 30
Tableau 15. Gennum Corporation 33
Tableau 16. Forces et faiblesses de la base technologique canadienne de l'industrie des semi-conducteurs 35

Tableaux et figures (*suite*)

Tableau 17. Performance des entreprises de technologie de pointe inscrites à la Bourse de Toronto entre 1983 et 1990 45
Tableau 18. Caractéristiques des sociétés de semi-conducteurs prospères durant les années 1990 47

Figure 1 Ventes mondiales de semi-conducteurs et d'équipement électronique 17
Figure 2 Tendances du marché mondial des microcircuits à l'arséniure de gallium 17
Figure 3 Marché mondial d'utilisation finale des semi-conducteurs, 1989 18
Figure 4 Production régionale de semi-conducteurs aux prix de 1988 19
Figure 5 Dépenses en capitaux dans l'industrie des semi-conducteurs aux prix de 1988 21
Figure 6 Le marché canadien des semi-conducteurs 28
Figure 7 Sociétés «spin-off» de la Compagnie internationale des microsystèmes Ltée 32
Figure 8 Tendances des investissements dans la technologie au Canada et aux États-Unis 43
Figure 9 Financement des entreprises technologiques par les secteurs public et privé 44

Faits saillants

- Dans les économies à dominance industrielle, l'électronique est l'un des secteurs les plus vastes et les plus importants sur le plan technologique, même s'il s'agit d'un secteur dont le volume des réalisations est difficile à mesurer en raison de la diversité des produits et des applications. La meilleure estimation du revenu total du secteur de l'électronique est de 725 milliards de dollars américains en 1990.

- Au Canada, le marché annuel de l'électronique est évalué à près de 15 milliards de dollars (2 p. 100 du marché mondial). Bien que le secteur canadien dépende de façon marquée des importations, il constitue une source de revenu considérable, représente plus de 5 p. 100 du marché de l'emploi du secteur manufacturier et constitue le moteur technologique de nombreux autres secteurs.

- Le secteur de l'électronique s'appuie sur deux technologies importantes : les semi-conducteurs et le logiciel. Les semi-conducteurs représentent les unités fonctionnelles élémentaires de tout équipement électronique et, à ce titre, jouent un rôle crucial dans les produits finis du secteur de l'électronique. Le présent rapport accorde une grande importance aux semi-conducteurs. Le logiciel est l'ensemble des commandes de programmation qui régissent l'utilisation logique des semi-conducteurs. (*Voir* la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» du Conseil des sciences du Canada, n° 15 — *Les logiciels et les services informatiques au Canada.*)

- Les semi-conducteurs eux-mêmes ne sont jamais vendus au consommateur. Ils sont agencés en groupes logiques appelés circuits intégrés (et plus communément désignés sous le nom de «micro-électronique»), lesquels, quand ils sont incorporés dans des boîtes séparées, deviennent des pièces d'équipement électronique. Plusieurs pièces d'équipement électronique interviennent dans la fabrication d'un produit de consommation électronique ou de groupes de produits appelés «systèmes». À titre d'exemple, mentionnons les ordinateurs, les appareils électroniques grand public, les systèmes de conception et de fabrication assistés par ordinateur, le matériel de télécommunication et le matériel de bureau.

- Cette chaîne intégrée en trois étapes (taxinomie de composantes, pièces d'équipement et systèmes) peut être utilisée pour expliquer les différents types de produits, de stades de développement et de contextes commerciaux de l'ensemble du secteur de l'électronique.

- Chaque étape de la chaîne requiert des habiletés techniques, des coûts d'investissement et des débouchés commerciaux très différents, qu'il est important de distinguer.

- En pratique, le marché mondial de l'électronique favorise une interaction dynamique du potentiel technique accru des pièces d'équipement et des composantes de semi-conducteurs (la poussée technologique), d'une part, et l'utilité croissante des systèmes complets sur le marché (l'attraction des besoins), d'autre part. Les deux aspects de cette interaction sont importants et les deux sont en pleine évolution. En conséquence, chacun des maillons de la chaîne de production — les composantes, les pièces d'équipement et les systèmes complets — doit être examiné attentivement dans son contexte technologique et commercial.

- Ce sont les entreprises japonaises et américaines qui dominent le marché mondial de l'électronique. Certains autres pays tels que l'Allemagne et la C ont également des capacités remarquables.

Toutefois, même les industries nationales les plus florissantes ne livrent pas nécessairement des produits ou des systèmes qui conviennent à tous les marchés. Par exemple, il semble juste de dire que l'industrie japonaise domine les marchés de consommation et ceux de l'électronique industrielle tandis que l'industrie américaine est plus forte sur les marchés militaires. Dans le domaine informatique, les États-Unis jouent un rôle de chef de file depuis toujours, mais cette situation pourrait bien changer en raison du défi majeur que représente la société japonaise Fujitsu/FACOM.

- Sur le marché mondial de l'électronique, l'effet de levier constitue un enjeu de taille. Par levier, on entend la possibilité pour une industrie nationale d'utiliser les compétences techniques disponibles pour exploiter de nouveaux débouchés ou encore d'occuper un créneau commercial florissant pour stimuler le développement de technologies novatrices.

- La stratégie japonaise s'appuie sur la demande pour prendre la tête du marché technologique en approvisionnant des marchés de consommation interdépendants. Tout bien pesé, cette stratégie semble rentable.

- Le secteur canadien de l'électronique est très nettement orienté vers une production destinée à trois principaux marchés : les télécommunications, le traitement des données et l'électronique aérospatiale (avionique). À l'intérieur de ces trois marchés, les sociétés canadiennes produisent des pièces d'équipement et des produits ou systèmes à plusieurs niveaux de la chaîne des composantes — mais pas nécessairement à tous les niveaux pour chacun de ces trois marchés.

- En raison même de la différence entre le profil de la production canadienne en électronique et celui de ses concurrents, il n'est ni possible ni pertinent d'établir des comparaisons directes sur le plan des dépenses consacrées à la R-D. Il serait plus réaliste de déterminer où se situent les firmes canadiennes dans la chaîne de production et d'évaluer leur stratégie technologique et commerciale dans ce contexte. Cette évaluation doit tenir compte en particulier des effets de levier.

- Dans l'ensemble, le secteur canadien de l'électronique est concurrentiel en matière de technologie pour ce qui est de sa ligne de produits courants. Son principal problème vient de sa petite taille et, sauf pour les télécommunications, de sa structure plutôt fragmentée, en raison de laquelle les entreprises canadiennes dépendent fortement de marchés à créneaux très spécialisés qui pourraient ou non se développer et qui n'ont pas beaucoup d'influence.

- Les produits finis ou les systèmes électroniques représentent des marchés à forte croissance — par exemple, le marché mondial du matériel de télécommunication devrait tripler au cours des années 1990; il est donc nécessaire d'encourager les stratégies de croissance.

- Le rôle stratégique de l'industrie des semi-conducteurs dans les économies des nations industrielles de pointe se renforce de façon de plus en plus spectaculaire. L'industrie internationale des semi-conducteurs, dont les ventes s'élèvent à environ 60 milliards de dollars américains (en dollars de 1989), connaît une croissance annuelle de 14 p. 100 (taux composé) — dépassant le volume mondial des ventes d'équipement électronique, dont la croissance est d'environ 12 p. 100 par année. Le fait que les ventes de semi-conducteurs prennent plus d'ampleur que les ventes de produits électroniques sur le marché mondial est attribuable aux niveaux de plus en plus élevés de perfectionnement et de rendement des pièces d'équipement.

- La tendance visant à accroître la complexité et l'intégration des circuits a engendré deux mouvements dignes de mention au sein de l'industrie des semi-conducteurs. La première tendance pousse l'industrie à produire de grandes quantités de composantes relativement standard à des coûts unitaires peu élevés en exploitant de nouvelles technologies de fabrication onéreuses. Seules les entreprises riches en capitaux et intégrées sur le plan horizontal ou vertical peuvent se permettre de livrer concurrence sur ce marché. La deuxième tendance est représentée par les nouvelles demandes des marchés à créneau, qui sont comblées par des circuits intégrés propres à une application (CIPA). La diffusion de systèmes de conception assistés par ordinateur peu coûteux et l'aménagement d'installations de production à petite échelle constituent un élément moteur important pour les CIPA et offrent des possibilités de pénétration pour les sociétés plus modestes. Le secteur des CIPA devrait continuer à prendre de l'essor sur le marché mondial.

- Le marché canadien des semi-conducteurs est d'environ 1,2 milliard de dollars, ce qui représente approximativement 2 p. 100 du marché mondial. Il se spécialise dans le domaine des CIPA. Le matériel de traitement des données et le matériel de télécommunication représentent respectivement environ 45 et 25 p. 100 du marché. Puisque la production intérieure des semi-conducteurs s'élève à peine à 339 millions de dollars, le marché canadien importe l'équivalent d'un milliard de dollars.

- L'industrie canadienne des semi-conducteurs compte presque essentiellement des petites sociétés installées dans la région d'Ottawa. Ces entreprises, qui sont en mesure d'occuper des créneaux particuliers, sont principalement orientées vers le marché des télécommunications. Les ventes de certaines grosses entreprises devraient tripler d'ici 1995, tandis que le marché mondial devrait doubler pendant la même période.

- La stratégie technologique globale adoptée à la fois par l'industrie canadienne des semi-conducteurs et par l'ensemble du secteur de l'électronique au Canada consiste à créer de nouveaux produits.

- Les entreprises canadiennes d'électronique qui concentrent leurs efforts sur l'application des CIPA pour les systèmes fonctionnels améliorés sont fort probablement promises à un avenir florissant. Cette stratégie semble offrir un effet de levier maximal. Même si le Canada dépend de l'importation des composantes de semi-conducteurs, l'application et l'intégration de semi-conducteurs ou de circuits intégrés dans les systèmes fonctionnels et dans les pièces d'équipement présentent des obstacles considérablement moins élevés à la pénétration des marchés et de bien meilleures possibilités de gains que la fabrication, à forte densité de capital, de composantes micro-électroniques (semi-conducteurs). Les avantages comparés des entreprises qui ont adopté une approche centrée sur l'application de la micro-électronique aux systèmes fonctionnels (AMSF) sont la création de produits et la conception de systèmes intégrés incorporés aux produits. Il existe déjà des indices très clairs de la prospérité des firmes canadiennes qui ont déjà adopté le concept de l'AMSF.

- Pour l'industrie canadienne des semi-conducteurs, les firmes florissantes seront celles qui maîtrisent les applications des systèmes, qui ont un accès garanti aux installations mondiales de fabrication, qui participent à de multiples entreprises conjointes et qui disposent des sources de capital accessibles et d'un bassin permanent de personnel qualifié.

- Une quantité phénoménale de domaines d'application offrent des créneaux viables pour le secteur canadien de l'électronique : contrôle et instruments industriels; électronique dans le domaine médical et le domaine des soins de santé; industrie des transports et de l'automobile; prospection

des ressources, perfectionnement et contrôle des processus; systèmes militaires; télécommunications; et produits électroniques sur mesure.

- Le marché militaire est important. Dans le passé, les États-Unis ont souvent utilisé l'approvisionnement militaire comme incitatif dans le domaine technologique; il se peut bien que le marché militaire demeure l'un des principaux moteurs de la R-D en matière de semi-conducteurs. Le sous-secteur de la guerre électronique, en particulier, offrira de nouvelles possibilités vitales pour la technologie et les ventes, en dépit de l'atténuation des tensions Est-Ouest. Le ministère de la Défense nationale a annoncé son intention d'entreprendre de la R-D spécialisée dans le domaine de la guerre électronique, et l'adoption du budget de R-D constitue un pas extrêmement prometteur dans la bonne direction.

- Le gouvernement américain ne semble pas encore reconnaître que les compétences manifestes du Canada permettraient de soutenir l'industrie américaine des semi-conducteurs et contribueraient à freiner l'envahissement du marché américain par les pays asiatiques — et sa dépendance à l'égard de leurs produits. Il faut réitérer l'engagement envers les accords nord-américains de défense industrielle avant que des entreprises conjointes plus solides ne voient le jour. En outre, à la fois aux États-Unis et au Canada, la politique de défense devrait encourager les retombées commerciales afin de préserver l'infrastructure industrielle de défense. En ce moment, ce dernier point semble mieux compris aux États-Unis qu'au Canada.

- Diverses alliances conclues au Canada et à l'étranger en matière de R-D constituent un élément important de la stratégie commerciale du Canada. La collaboration jouera un rôle de premier plan et garantira à la fois la survie et la croissance de l'industrie canadienne des semi-conducteurs et de la micro-électronique. L'industrie a proposé un certain nombre de projets conjoints de R-D et commence à tenter de devenir membre de consortiums américains tels que la U.S. Semiconductor Research Corporation. Il semble fort souhaitable que le Canada et les État-Unis unissent leurs efforts.

- Des réseaux régionaux de courtage en technologie pourraient être mis sur pied afin d'assurer un accès rapide aux installations mondiales de fabrication des semi-conducteurs. Parmi les avantages qu'offrent de tels réseaux, on peut citer le regroupement de la demande et les possibilités de négocier des taux préférentiels avec les fonderies de semi-conducteurs, l'établissement d'une interface avec le monde financier, les liens avec les universités, la capacité de concevoir et de redévelopper des circuits intégrés pour s'adapter aux capacités particulières des fonderies et une meilleure diffusion de la technologie.

- Des «infrastructures virtuelles» locales ou régionales, construites pour le secteur canadien de l'électronique, pourraient aider les entreprises à utiliser le concept de l'AMSF avec succès. Une organisation fondée sur ce genre d'interface agirait à titre de facilitateur pour l'industrie, et ce, de plusieurs façons : en développant et en diffusant de l'information sur les progrès technologiques réalisés en micro-électronique, sur les applications et sur les marchés, en appariant les entreprises et les sources d'information (particulièrement les universités locales et les collèges communautaires), en partageant les outils de conception, en fournissant des équipes de négociation pour la fabrication des puces, etc., en donnant accès aux possibilités de formation, tant sur le plan technique que sur le plan de la gestion, et en aidant à trouver des sources de financement.

- Le gouvernement peut soutenir les efforts de l'industrie de différentes façons. Premièrement, il pourrait jouer un rôle de chef de file en favorisant la diffusion de technologies spécialisées en semi-conducteurs telles que les CIPA. L'aide fournie en vue de faire adopter les techniques avancées de conception de CIPA par les entreprises canadiennes de taille moyenne pourrait accélérer le taux d'adoption des CIPA et procurer des avantages à long terme au secteur informatique, particulièrement dans le cadre de l'approche AMSF. Deuxièmement, les divers paliers de gouvernement pourraient apporter leur concours aux entreprises de l'ensemble du secteur sur le plan de l'infrastructure et du financement. Cet appui pourrait englober des infrastructures virtuelles régionales ou locales pour la micro-électronique, l'initiative stratégique proposée en micro-électronique et les réseaux de courtage en technologie. Troisièmement, il faut assurer un bassin adéquat d'ingénieurs formés dans le domaine de la conception et de l'application des semi-conducteurs. Quatrièmement, le gouvernement devrait réexaminer ses mesures d'encouragement en matière de capital de risque, à la lumière du soutien direct limité offert aux industries de pointe au Canada.

Historique de la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie»

Dans la «nouvelle» économie des années 1990, les entreprises prospères à forte valeur des pays industrialisés sont mues par l'innovation et incitées à consacrer des fonds à de nouveaux produits et procédés. Elles axent de plus en plus leurs stratégies commerciales sur des connaissances et des compétences spécialisées pour adapter leurs propres technologies clés aux marchés particuliers.

Où se situe le Canada dans ce nouveau milieu en évolution rapide, où les alliances et les relations changent constamment? La faible capacité d'innovation de l'industrie canadienne est une préoccupation du Conseil des sciences du Canada depuis 1971, année où l'organisme a fait paraître le rapport *L'innovation en difficulté*. Le Conseil a exprimé à nouveau ses inquiétudes dans sa déclaration intitulée *Innovation sectorielle*, publiée en 1987. Concentrant alors son attention sur les mesures susceptibles d'être prises au niveau sectoriel, le Conseil affirmait :

> Les milieux industriels et gouvernementaux du Canada sont de plus en plus conscients du rôle clé joué par la technologie et la R-D dans la concurrence intérieure et internationale. Le Conseil des sciences considère qu'il incombe avant tout à l'industrie de relever le calibre de la technologie et d'accroître les activités de R-D au Canada. Néanmoins, les gouvernements peuvent venir en aide aux milieux industriels dans leurs efforts pour maintenir leur compétitivité à long terme à la fois en collaborant avec des entreprises individuelles et en bâtissant un consensus sur l'élaboration de stratégies d'innovation adaptées aux divers secteurs industriels. Il ne s'agit pas, pour les gouvernements, de dire aux entreprises ce qu'elles doivent faire, mais bien de favoriser la collaboration entre celles-ci dans une perspective d'autodéveloppement. Pour parvenir à un tel consensus sur la stratégie à adopter pour un secteur particulier, il faut établir une collaboration étroite et continue avec les industries sur le rôle actuel de la technologie et de la R-D dans le secteur, sur les perspectives de développement et sur la nature des sources, des stimulis et des formes d'innovation technologique. De toute évidence, pour réussir, il faudra élaborer des stratégies d'innovation distinctes pour chaque secteur de l'industrie. Le Conseil des sciences souhaite qu'en bâtissant ce consensus, on parviendra à déterminer les priorités, à établir les domaines qui se prêtent à la coopération et à élaborer un plan d'action.

Cet énoncé s'est révélé une étape importante de la décision qu'a prise par la suite le Conseil d'entreprendre un grand projet sur les stratégies sectorielles en matière de technologie.

En 1989, à un moment où l'état de la compétitivité canadienne suscitait beaucoup de préoccupations et où l'on s'interrogeait sérieusement sur le faible niveau des dépenses brutes affectées à la recherche et au développement au Canada par rapport à d'autres pays industrialisés, Industrie, Sciences et Technologie Canada (ISTC) a accepté d'assurer la plus grande partie du financement de ce projet. ISTC a aussi choisi les secteurs sur lesquels il souhaitait que porte le projet.

Chaque rapport de la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» s'inspire en partie d'analyses commandées par le Conseil des sciences du Canada à des entrepreneurs; celles-ci sont conçues pour révéler la dynamique de l'innovation technologique dans le secteur et celle des stratégies des sociétés en matière de technologie. Chaque rapport a aussi bénéficié dans une large mesure des observations et des conseils formulés par les nombreux experts externes des milieux d'affaires, universitaires et gouvernementaux, auxquels on rend hommage dans les remerciements.

Commentaire sur la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» et sur les objectifs de la R-D

La série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» porte sur 15 secteurs d'activité au Canada. À la lumière de l'analyse effectuée, le Conseil des sciences du Canada formule les commentaires suivants sur le rendement du Canada en recherche et développement (R-D) et sur l'établissement d'objectifs sectoriels de R-D.

- Regroupées par secteur, les entreprises canadiennes exécutent généralement beaucoup moins de travaux de R-D que leurs concurrents commerciaux. En pourcentage des ventes, la R-D représente, pour les entreprises canadiennes, entre le tiers et la moitié de ce qu'effectuent dans le domaine leurs principaux concurrents sectoriels sur la scène internationale. Parmi les secteurs étudiés, celui des télécommunications constitue toutefois une exception digne de mention.

- Pour certaines lignes de produits ou technologies particulières, il faut atteindre certains seuils minimaux absolus de R-D et de dépenses d'investissement avant que les efforts consentis puissent éventuellement rapporter. Il est évident que les seuils minimaux sont élevés dans certains segments de secteurs, tels que les télécommunications (commutateurs de central téléphonique), les pièces automobiles (fournisseurs de premier niveau), le pétrole et le gaz (normes des raffineries sur l'essence reformulée) et l'électronique (fonderies où l'on traite les circuits intégrés). De tels seuils absolus ne peuvent être exprimés clairement en tant que pourcentage des ventes.

- Dans la majorité des 15 secteurs étudiés, la faiblesse des sommes allouées à la R-D par les entreprises s'explique par le choix de la stratégie commerciale et technologique (qui élimine presque les entreprises canadiennes de nombreux segments de marché à plus forte valeur ajoutée), la taille relativement petite des entreprises canadiennes, le haut niveau des seuils absolus de dépenses au titre de la R-D qu'il faut consentir pour jouer un rôle prépondérant, surtout dans le domaine des stratégies technologiques novatrices, et le pourcentage de propriété étrangère dans les entreprises canadiennes (un facteur particulièrement important dans les secteurs des pièces et des véhicules automobiles).

- L'insuffisance de R-D au Canada par rapport aux autres pays n'est que l'un des nombreux facteurs qui nuisent à la compétitivité du pays. Parmi ceux-ci figurent les coûts des investissements et de la main-d'œuvre, la qualité technique, la commercialisation et la gestion. La contribution de la R-D, ou plus précisément de l'innovation technologique, est pourtant de plus en plus marquée dans l'économie mondiale, mais le Canada continue de tirer de l'arrière en ce domaine. Le faible niveau de R-D affecte tout particulièrement les secteurs canadiens qui reposent sur l'exploitation des ressources en réduisant leur compétitivité dans le cas des produits différenciés à plus forte valeur. Ces secteurs sont ainsi vulnérables aux fluctuations de prix défavorables, mais indépendantes de leur volonté, qui découlent par exemple d'une augmentation du taux de change.

- Les industries canadiennes disposent assurément d'un considérable potentiel d'accroissement de leurs investissements en R-D. Cependant, l'exploitation de ce potentiel dépend fortement de l'optique des dirigeants d'entreprises et de leur capacité d'utiliser la technologie de façon stratégique, d'accélérer le processus d'innovation dans l'entreprise, de travailler plus étroitement avec les fournisseurs et les «clients exigeants» d'un bout à l'autre de la chaîne de production, et de

se doter des ressources nécessaires pour innover davantage et faire de la R-D. Les entreprises canadiennes n'ont pas encore saisi pleinement les répercussions de la stratégie nouvelle, dite stratégie de l'«entreprise superefficace» ou du «producteur flexible». Pour adopter cette nouvelle stratégie, elles devront chercher à offrir le meilleur produit possible à leurs clients. Afin de répondre aux besoins de ces derniers, elles devront intégrer les compétences d'une main-d'œuvre aguerrie à une structure de direction souple qui stimule les initiatives de coopération, tant au sein des entreprises qu'entre les entreprises.

- Les sociétés canadiennes œuvrant dans les secteurs étudiés cherchent surtout à adopter et à adapter des technologies existantes. Elles ne font guère place aux stratégies d'innovation technologique (une fois de plus, le secteur des télécommunications fait exception à la règle) et à peine quelques-unes d'entre elles se tournent vers les stratégies de pénétration des marchés dans le but de renforcer leur position concurrentielle. Dans l'ensemble, les entreprises des 15 secteurs envisagés ne font que peu d'efforts de diversification en dehors des lignes de produits existantes, préférant plutôt accroître l'efficacité de la production.

- Les gouvernements peuvent établir des objectifs de R-D par secteur, dans l'espoir d'inciter les entreprises à accroître leur rendement, à modifier leur stratégie commerciale et à obtenir un plus grand engagement du secteur privé à l'égard de la R-D. Cependant, la R-D effectuée par le secteur privé ne sera valable que si elle s'accompagne d'un vaste ensemble d'initiatives communes des secteurs public et privé, depuis les techniques améliorées et la production accrue jusqu'au financement et à la commercialisation. L'intensification des activités de R-D ne sera productive que si elle va de pair avec une stratégie commerciale en matière de technologie plus élaborée et conçue minutieusement afin d'appuyer les objectifs commerciaux des entreprises. Sinon, ces dernières ne pourront pas rassembler les investissements complémentaires requis pour tirer profit de la R-D. C'est l'entreprise qui doit engager des ressources aux fins de la R-D.

- Il devient de plus en plus difficile d'établir des objectifs par secteur en matière de R-D, puisque des facteurs tels les progrès technologiques, les changements dans la réglementation et les restructurations commerciales ont pour effet de décloisonner les secteurs. Les grandes entreprises diversifiées qui sont au premier plan de la R-D industrielle contemporaine s'adonnent en effet à des activités de R-D qui pourraient relever de plusieurs secteurs. Citons, par exemple, la R-D dans le domaine des textiles et des matériaux réalisée par de grandes entreprises japonaises de l'acier, la R-D en électronique effectuée par les fabricants de véhicules automobiles, et la R-D sur les logiciels faite par les entreprises de télécommunication. Les gouvernements canadiens ont, à juste titre, favorisé une intensification des efforts de R-D au sein des industries du pays. Vu le rythme rapide des progrès scientifiques et des changements techniques, d'une part, et compte tenu du rôle de l'interdépendance des systèmes et de la synergie entre les techniques, d'autre part, l'établissement d'objectifs de R-D ne semble pas justifier l'effort soutenu, la coopération et, en dernière analyse, l'engagement nécessaires du gouvernement fédéral, des gouvernements provinciaux et des organismes privés.

Liste des rapports de la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie»

N° 1	Les télécommunications au Canada
N° 2	Les pièces automobiles au Canada
N° 3	Le fer et l'acier au Canada
N° 4	Les véhicules automobiles au Canada
N° 5	Le pétrole et le gaz naturel au Canada
N° 6	Les produits pétrochimiques et les résines au Canada
N° 7	Les banques au Canada
N° 8	Les métaux non ferreux au Canada
N° 9	Les produits forestiers au Canada
N° 10	La machinerie au Canada
N° 11	Les aliments et boissons au Canada
N° 12	L'énergie électrique au Canada
N° 13	Le génie-conseil au Canada
N° 14	L'électronique au Canada
N° 15	Les logiciels et les services informatiques au Canada

Remerciements

Le Conseil des sciences du Canada remercie les personnes et les organismes suivants, qui ont contribué à la préparation du présent rapport grâce aux conseils et aux renseignements qu'ils ont fournis : Roger Voyer, NGL Consulting Ltd., Ottawa; Alan Aitken, Microelectronic Industry Consultants, Nepean; Dan Gale, Société canadienne de micro-électronique, Kingston; Michael Leung, Telecommunications Research Laboratories, Edmonton; Edward Cerny, Université de Montréal, Montréal; Frost and Sullivan, Inc., New York, New York; Dataquest Inc., San José, Californie; Vinod Agarwal, Recherches Bell-Northern Ltée, Ottawa; Martin Hanssmann, Techware Systems Corporation, Richmond (Colombie-Britannique); Ron Beach, Services d'analyse de la production de matériel de défense, Approvisionnements et Services Canada; Andrew Malozzi, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa; Jocelyn Ghent-Mallette, Industrie, Sciences et Technologie Canada, Ottawa.

Les opinions et les conclusions exprimées dans le présent rapport sont celles du Conseil des sciences du Canada et ne représentent pas nécessairement celles d'autres personnes ou organismes.

Le comité du Conseil des sciences du Canada qui a dirigé le projet se composait des personnes suivantes :

John Roth, président, Systèmes sans fil, Northern Telecom (président du comité jusqu'en février 1991);
*Simon J.S.W. Curry, directeur, Modélisation au niveau du système, Recherches Bell-Northern Ltée (président du comité depuis février 1991);
Morrell Bachynski, président, MPB Technologies Inc.;
Richard Bolton, directeur général, Centre canadien de fusion magnétique, Institut de recherche d'Hydro-Québec;
Richard Dillon, directeur, Alafin Consultants Ltd.;
Gerry B. Dyer, directeur de la recherche, Du Pont Canada Inc;
J. Barry French, professeur, Institute for Aerospace Studies, Université de Toronto;
James Gilmour, directeur de l'analyse des politiques, Conseil des sciences du Canada (membre d'office);
Gordon Gow, président-directeur général, Société internationale de l'Ontario;
Janet Halliwell, présidente, Conseil des sciences du Canada (depuis août 1990; membre d'office);
Geraldine Kenney-Wallace, présidente, Conseil des sciences du Canada (jusqu'à juillet 1990; membre d'office);
Bernard M. Leduc, chef de la direction scientifique et directeur régional, Wyeth-Ayerst Research — Canada;
Guy P.F. Steed, directeur des programmes, Conseil des sciences du Canada (membre d'office);
Andrew J. Szonyi, président, Canadian Resource Management Ltd;
Graham Taylor, directeur, Innovation et diffusion de la technologie, Industrie, Sciences et Technologie Canada;
Hugh Wynne-Edwards, président, Terracy Corporation.

Le personnel du projet comprenait :

Rick Clayton, agent de projet et membre du comité du projet, Conseil des sciences du Canada;
Timothy Hodges, attaché de recherche, Conseil des sciences du Canada;
Paula Desjardins, attachée de recherche, Conseil des sciences du Canada.

---

* Chargé d'assurer la liaison avec le comité pour le rapport sur l'électronique.

Introduction

L'ensemble de l'industrie de l'électronique se fonde sur deux technologies de base : les semi-conducteurs et le logiciel. Ces technologies, modules élémentaires de tout système électronique, sont particulièrement puissantes.

Les semi-conducteurs et le logiciel entretiennent entre eux une relation synergique; en d'autres termes, ils sont interdépendants. Les possibilités de les combiner sont innombrables. Tout produit électronique est composé de semi-conducteurs (circuits intégrés) et régi par un logiciel (une série de commandes de programmation). En termes simples, l'un ne vaut rien sans l'autre[1], mais ensemble, ils créent la multitude de produits électroniques avec lesquels nous sommes tellement familiarisés aujourd'hui[2].

Le présent rapport traite de l'importante interaction des semi-conducteurs et du vaste éventail de produits et de systèmes manufacturés caractérisant le secteur de l'électronique. Bien que plusieurs segments importants du secteur de l'électronique (par exemple, la défense électronique, l'informatique et l'automation de la production) soient inévitablement abordés dans ce rapport, les télécommunications et le logiciel font l'objet d'un examen approfondi distinct (*voir* la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» du Conseil des sciences du Canada, n° 1 — *Les télécommunications au Canada* et n° 15 — *Les logiciels et les services informatiques au Canada*).

Au Canada, l'industrie de l'électronique produit surtout des composantes que les firmes étrangères intègrent dans des systèmes fonctionnels. En conséquence, l'industrie canadienne n'entretient généralement pas de rapports directs avec les utilisateurs finaux en vue de comprendre leurs besoins. Il existe cependant quelques exceptions. Tel est le cas notamment de la société Northern Telecom Canada Ltée, chef de file de la technologie de pointe au Canada, qui produit des semi-conducteurs devant être intégrés dans les composantes et pièces d'équipement; celles-ci, à leur tour, deviennent les modules élémentaires de systèmes intégrés de télécommunication qui répondent aux besoins d'utilisateurs particuliers. Citons également la société CAE Industries Ltd., qui construit des systèmes intégrés de simulateurs de vol.

Le Canada aurait-il besoin d'autres sociétés comme Northern Telecom et CAE? Oui. De telles entreprises livrent des systèmes intégrés à des marchés spécifiques. Le Canada, par exemple, pourrait tirer profit de la présence d'une ou deux sociétés fournissant des systèmes de contrôle des opérations dans le secteur des ressources naturelles. Un autre secteur en plein essor est celui de l'électronique automobile. Il y a aussi celui des soins de santé : le Canada dispose d'assises institutionnelles solides qui pourraient bénéficier de l'évolution du secteur de l'électronique.

Les occasions existent, mais il faut des entreprises de taille pour les saisir. Puisque de telles entreprises sont inexistantes au Canada, les Canadiens devront les créer. La première démarche devrait consister à donner l'élan à des entreprises seuil, ces firmes de taille moyenne qui ont la capacité de devenir des entreprises d'envergure mondiale. Il s'agit, par exemple, des sociétés Gennum, Les Technologies MPB, MPR Teltech et Les Industries CMAC. Elles ont besoin du soutien du secteur public pour négocier les ententes financières, commerciales et techniques nécessaires à leur croissance.

La deuxième possibilité consisterait à appuyer des sociétés d'électronique plus modestes pour qu'elles exploitent à fond le principe axé sur l'utilisateur final et deviennent des sociétés seuil, pour ensuite acquérir une envergure mondiale. Beaucoup de petites sociétés canadiennes cherchent à prendre de l'expansion. À titre d'exemple, citons les sociétés Astra, Genesis Microchip, MOSAID, Optotek et Silcom Research.

Le financement constitue un défi de taille. Ces entreprises auraient besoin d'un dollar de fonds de roulement pour chaque dollar de vente, en période de croissance. Ce fait a été reconnu par le Fonds

de technologie du Conseil du Premier ministre de l'Ontario, lequel a recommandé que des ententes spéciales soient conclues pour accorder un appui financier à ces sociétés seuil[3].

Ces entreprises ont également besoin de capital de risque et d'autres appuis tels que les infrastructures virtuelles (*voir* plus loin), qui servent à l'ensemble du secteur.

Le présent rapport a pour objectif principal de déterminer les stratégies technologiques adoptées par les entreprises d'électronique de pointe au Canada, d'établir le rendement du secteur en matière de R-D comparativement à nos principaux concurrents, et d'analyser les principaux motifs des différences relevées et leur incidence sur la compétitivité.

Aperçu du secteur de l'électronique : des semi-conducteurs aux systèmes

Les produits du secteur de l'électronique ont envahi l'économie mondiale contemporaine. On retrouve des composantes électroniques dans pratiquement tous les produits manufacturés et tous les processus de fabrication. Ils jouent même un rôle de premier plan dans les secteurs de services — allant de l'éducation jusqu'aux affaires bancaires. Aucune économie ne pourrait maintenir son rythme de croisière sans l'électronique.

En outre, des composantes électroniques sont de plus en plus souvent intégrées à des systèmes puissants en vue d'améliorer le rendement des réseaux de télécommunication, de contrôler les procédés dans les usines, de stocker l'information et les données médicales dans les hôpitaux, etc. Aujourd'hui, de tels systèmes sont les instruments de base d'une gestion efficace dans le contexte de l'économie mondiale.

L'électronique : définition et description

L'électronique est la plus ancienne des «technologies nouvelles» associées à l'ère de l'information. Tout le monde admet qu'elle joue un rôle décisif dans l'économie et la défense des nations[4]. Étant donné l'éminence de ce secteur, il est quelque peu surprenant de constater qu'il n'y a pas de véritable consensus sur la terminologie ni sur une définition industrielle de l'électronique.

Bien qu'une définition *ad hoc* du terme «électronique» n'ait pu s'imposer universellement jusqu'ici, il existe un consensus sur le fait que l'électronique a trait aux procédés de fabrication des circuits électroniques ainsi qu'à l'exploitation utile de ces circuits pour répondre aux besoins de l'humanité. Derrière cette description de base peu utile se cache une foule d'opinions sur la nature réelle de l'électronique.

Cependant, il est possible de dégager une taxinomie (un modèle classificatoire) pour analyser le secteur de l'électronique. Une telle taxinomie est utilisée tout au long du présent rapport pour expliquer différents genres de produits, d'étapes de développement et de niveaux de complexité.

Pratiquement tous les produits électroniques finis comportent des éléments qui se situent à l'un ou l'autre des trois stades ou niveaux suivants : les composantes, les pièces d'équipement et les systèmes. Une telle division du secteur de l'électronique est importante puisque chaque stade fait appel à différents niveaux de compétence et à des coûts d'investissement qui lui est propre.

Les composantes

Les composantes sont les puces de semi-conducteurs (circuits intégrés). Elles constituent les modules physiques élémentaires de l'électronique. Le semi-conducteur tire son nom de la propriété qu'ont certaines matières — plus particulièrement le silicium, mais également des composés plus complexes d'indium et de gallium — de régler le passage du courant électrique. Ces matériaux ne sont ni de bons conducteurs ni de bons isolants. Grâce à cette propriété, une série de dispositifs à base de semi-conducteurs, agencés logiquement pour former un circuit intégré ou puce, peuvent être disposés pour remplir certaines fonctions spécifiques, notamment la reconnaissance de signaux sélectifs (mémoire) et la réalisation d'opérations arithmétiques complexes (calcul). Les semi-conducteurs, qui représentent l'une des deux technologies vitales à l'appui du secteur de l'électronique, constituent l'un des principaux sujets de ce rapport.

Le deuxième élément technologique vital du secteur de l'électronique est le logiciel, qui peut être défini comme l'ensemble des instructions de programmation contrôlant la logique et les capacités

des puces (groupes de semi-conducteurs). Le logiciel fait l'objet d'un rapport distinct de cette série (*voir* la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» du Conseil des sciences du Canada, n° 15 — *Les logiciels et les services informatiques au Canada*).

Les circuits intégrés des semi-conducteurs sont produits dans une fonderie. Il s'agit généralement d'une installation capitalistique dont le niveau d'automatisation et les fonctions assistées par ordinateur augmentent sans cesse. Selon la nature de la conception et la complexité des puces, les coûts de la main-d'œuvre semi-qualifiée peuvent être importants si les diverses composantes des semi-conducteurs sont intégrées à des circuits plus complexes. La conception de puces constitue une fonction distincte qui exige des compétences extrêmement spécialisées en génie et en informatique.

Les pièces d'équipement

Un nombre considérable de puces de semi-conducteurs peuvent être agencées de façon plus complexe pour atteindre une fonctionnalité supérieure. Ce regroupement, poussé jusqu'à la production d'une entité, devient un sous-système ou une pièce d'équipement. Une pièce d'équipement n'est pas autonome; elle est reliée à d'autres sous-systèmes pour former un produit final. La caractéristique dominante d'un sous-système est qu'il possède une capacité fonctionnelle dépassant celle de tout circuit intégré isolé. En outre, il peut incorporer des éléments non électroniques (par exemple, des composantes hydrauliques pour la manutention physique de matériaux ou des rayons laser pour la détection ou l'impression). Toutefois, en dépit de son plus haut niveau de complexité, une pièce d'équipement n'a une valeur commerciale que dans le contexte d'un produit fini ou d'un groupe de produits — le système intégré.

Les sous-systèmes peuvent être formés de composantes assemblées dans des chaînes de fabrication automatisées ou encore à la main si elles sont personnalisées ou spécialisées. En général, l'assemblage des sous-systèmes exige davantage de main-d'œuvre que la production des composantes et requiert également des compétences plus variées. Les employés peuvent aussi bien être des assembleurs semi-spécialisés chargés de fabriquer la plupart des circuits électroniques que des techniciens hautement spécialisés qui assurent l'assemblage de haute qualité de divers types de composantes. Une fois de plus, la conception est une tâche distincte et hautement spécialisée.

Les systèmes

Le produit final du marché de l'électronique — ou système — représente le niveau ultime de complexité. Le produit sera employé par l'utilisateur final sans subir de changement, d'ajout ou de traitement supplémentaire. Il doit être le plus fonctionnel possible par rapport à sa raison d'être. Un système intégré peut être aussi petit qu'un centre audiovisuel familial — comprenant un poste de télévision, un système sonore, un magnétoscope et des haut-parleurs — ou aussi complexe et puissant que le Système canadien de contrôle du trafic aérien (CATS) — incorporant une série de radars de tailles diverses, de processeurs de signal et de communication, d'ordinateurs qui permettent de gérer le trafic, de transpondeurs pour les avions et de stations au sol, etc.

Ces systèmes exigent l'intégration de sous-ensembles en un produit final fonctionnel ou un groupe de produits. La fabrication au sens traditionnel est limitée. Des compétences extrêmement spécialisées dans le domaine du génie revêtent une importance primordiale : les divers sous-systèmes doivent être organisés pour fonctionner de façon harmonieuse les uns avec les autres. Alors que le niveau d'investissement peut être faible pour les intégrateurs de systèmes, ceux-ci ne peuvent se passer des investissements destinés à la fabrication et à l'assemblage des composantes et des sous-systèmes, même s'ils ne produisent pas ces éléments eux-mêmes.

Attraction des besoins et poussée technologique

Depuis que l'électronique est née, on ne s'entend pas sur la force fondamentale qui anime ce secteur : est-il dirigé par des compétences techniques nouvelles et des développements technologiques permettant de mettre en marché des produits de plus en plus utiles et variés (poussée technologique), ou existe-t-il une compréhension plus profonde des besoins du marché qui favorise de nouvelles technologies plus efficaces (attraction des besoins)?

Il est absolument impossible de répondre de façon définitive à cette question puisque ces deux facteurs ont joué un rôle par le passé. Néanmoins, il semble possible, pour des motifs commerciaux et politiques purement pratiques, d'accorder la priorité à l'attraction des besoins.

Il convient de faire remarquer que pour d'autres fins — par exemple, les priorités de recherche, particulièrement l'expérimentation dans le domaine de la recherche fondamentale —, il n'apparaît pas aussi clairement que l'attraction du marché soit la force dominante; c'est pourquoi de nombreux scientifiques pensent à juste titre que la poussée technologique est le facteur le plus important. Toutefois, un bref historique de l'évolution de l'électronique soutient la thèse de l'importance dominante de l'attraction du marché sur le plan de la pratique commerciale.

Le secteur de l'électronique moderne remonte à la Seconde Guerre mondiale et aux quelques années qui l'ont précédée, en particulier à la mise au point, en Grande-Bretagne (et aux États-Unis), de radars pour la défense aérienne. Le British Air Ministry avait bien compris, dans le courant des années 1930, qu'il fallait mettre au point une nouvelle forme de détection d'envahisseurs aéroporté pour assurer la défense du pays. La nouvelle technologie du radar s'est avérée extrêmement efficace à cette fin, mais les premiers modèles exigeaient de très grandes antennes de transmission et de réception, ce qui limitait cette technologie aux stations au sol. Vu l'importance du radar, il est très vite apparu qu'il fallait concevoir une application plus souple (par exemple, un radar aéroporté). Toutefois, le projet exigeait des techniques de miniaturisation.

L'invention anglaise du magnétron à cavités multiples, en 1939, marque un tournant dans l'histoire de l'électronique. Le magnétron permettait une très forte amplification des signaux à des fréquences très élevées d'après les normes de l'époque. Ces très hautes fréquences permettaient d'avoir recours à des antennes et à des génératrices plus petites, offrant ainsi l'avantage d'une meilleure résolution des cibles. Ainsi venait de naître le procédé de la miniaturisation électronique.

Le magnétron était une composante novatrice; combiné à une génératrice, il devenait un important sous-système des systèmes de radar haute fréquence à ondes centimétriques tels que le célèbre SCR-584. Pendant la guerre, les puissances de l'Axe n'ont jamais réussi à égaler la perfection technique de cet équipement. De même, les premiers ordinateurs électroniques ont été mis au point au cours de la Seconde Guerre mondiale, surtout pour déchiffrer les codes de l'Axe. Ici encore, l'adversaire n'a pas réussi à rattraper son retard au cours du conflit.

Les expériences se sont poursuivies après 1945 dans le domaine de la miniaturisation électronique et, en 1947, le premier transistor ou semi-conducteur a été inventé au laboratoire Bell aux États-Unis — bel exemple de poussée technologique. Curieusement, toutefois, la principale application commerciale de cette nouvelle technologie n'a pas vu le jour aux États-Unis mais au Japon. Se lançant dans la production de la radio transistor de poche, l'industrie japonaise semble avoir reconnu les mérites commerciaux de la miniaturisation électronique plus vite que d'autres pays. Ces mérites commerciaux sont encore étudiés à l'heure actuelle, et l'industrie japonaise reste la puissance dominante dans les produits de consommation électroniques. Pourtant, la technologie de base n'a pas été inventée au Japon, et de toute évidence, les Japonais ont véritablement perdu la bataille technologique pendant la guerre.

Les États-Unis ont continué d'utiliser l'acquisition de matériel de défense pour stimuler l'innovation technologique dans le secteur de l'électronique. L'initiative de défense stratégique américaine (IDS) proposée par l'administration Reagan en 1980 contenait un certain nombre d'éléments ayant de profondes répercussions sur la conception électronique. Ce que l'on a appelé le «superordinateur» en constitue un bon exemple. Le traitement du nombre énorme de calculs et de manipulations de données qu'exige la gestion de la lutte contre les missiles balistiques nécessite une technologique informatique complètement nouvelle. Il semble que l'ordinateur optique ou photonique puisse répondre à cette exigence. Les signaux électriques ordinaires du matériel électronique traditionnel sont ralentis par les carrefours microscopiques de tous les circuits de semi-conducteurs. Toutefois, un ordinateur utilisant l'énergie lumineuse des guides d'ondes photoniques ne serait pas exposé à de tels ralentissements. Il fonctionnerait essentiellement à toute vitesse en tout temps. Sa capacité effective en serait fortement augmentée — capacité que l'on pourrait également mettre à profit sur les marchés commerciaux civils. Il semble juste de dire que l'industrie japonaise domine les marchés électroniques destinés aux consommateurs et aux industries, tandis que l'industrie américaine s'impose de façon spectaculaire sur les marchés militaire et informatique. Les États-Unis ont souvent exploité habilement leurs acquisitions de matériel de défense. Toutefois, alors que l'industrie américaine se trouve fréquemment à la fine pointe de la technologie, elle a perdu une grosse part de la production destinée aux marchés de masse.

En conséquence, le développement du secteur de l'électronique est toujours le résultat d'interactions dynamiques de la poussée technologique et de l'attraction des besoins. Toutefois, la position dominante du Japon sur les marchés de masse, en dépit de la supériorité absolue fréquente de l'industrie américaine dans le domaine de la technologie, donne à penser que la stratégie japonaise, qui tire profit de l'attraction de la demande, devrait être examinée plus en profondeur.

La stratégie japonaise est fondée sur le concept très important de «levier» — capacité qu'a une industrie nationale de mettre à profit les compétences spécialisées disponibles pour créer de nouveaux débouchés ou d'utiliser une position commerciale dominante pour stimuler la conception de technologies novatrices. Les entreprises accordent la priorité à certains marchés. Leur but n'est pas nécessairement d'en retirer des profits immédiats, mais de bâtir une infrastructure favorisant la R-D, l'efficience de la production ainsi que l'efficacité des canaux de promotion et de distribution. Cette infrastructure assurera un développement permanent. En d'autres termes, la notion de levier ne repose pas sur l'importance d'un marché par rapport à un autre, mais plutôt sur l'hypothèse selon laquelle avec le temps et l'évolution, de nombreux marchés stratégiques deviendront solidaires et interdépendants. Le tout deviendra beaucoup plus grand que la somme de ses parties.

La corrélation des produits et des marchés stratégiques d'utilisation finale crée une infrastructure que les concurrents en moins bonne position trouveront difficile à pénétrer. La puissance de cette infrastructure intégrée commencera à dominer les composantes qui se situent en amont de la chaîne de production et le développement technologique des sous-systèmes, les droits de propriété intellectuelle, l'élaboration des composantes individuelles et la production de masse, et même le système d'enseignement — et non l'inverse.

Sur le marché de l'électronique, le semi-conducteur se retrouve dans tous les produits. Toute industrie qui contrôle un nombre suffisant de marchés de produits électroniques, par exemple l'électronique destinée au consommateur, peut également commencer à dominer le marché des semi-conducteurs. La prédominance dans le domaine de la conception et de la fabrication de semi-conducteurs ouvre la voie à de nombreuses options de développement de produits auxquels n'ont pas accès les concurrents et permet de dominer davantage de nouveaux marchés et de multiplier les effets positifs obtenus au départ. Une chaîne de marchés reliés entre eux commence à contrôler une base technologique d'une telle ampleur que l'entrée ou le retour concurrentiel sur le marché s'avère très difficile et très onéreux.

La position des Japonais sur les marchés d'utilisation finale corrélés et stratégiques s'est améliorée à mesure que ceux-ci ont poussé le développement de ces marchés jusqu'à la limite de leurs possibilités logiques. Parallèlement, le coût de l'entrée ou du retour concurrentiel sur le marché est devenu prohibitif, en grande partie en raison de la corrélation entre les produits et les marchés. Aujourd'hui, ceux-ci sont véritablement une combinaison de nombreux produits, technologies, composantes et marchés corrélés.

Par exemple, si on examine les magnétoscopes, on constate qu'il y a vingt ans, la technologie du transfert d'image sur bande était d'une extrême importance. Mais maintenant, pour être concurrentielles, les firmes doivent posséder une grande maîtrise du traitement numérique du signal, des techniques d'affichage, des caméras et de l'optique, de la technologie des semi-conducteurs et des ordinateurs. Elles ont également besoin d'un équipement de fabrication de masse entièrement automatisé et de systèmes de commercialisation, de vente et de distribution de masse. En outre, ces firmes doivent établir des relations stratégiques avec les médias pour se tailler une place dans l'univers de la magnétoscopie.

La technologie dite de haute définition prendra vraisemblablement son essor dans les années à venir. Les produits de haute définition peuvent traiter des volumes considérables d'information audiovisuelle et améliorer la qualité des médias de communication. Ces produits toucheront presque tous les aspects de la créativité humaine.

La télévision haute définition, par exemple, double la résolution horizontale et verticale de la télévision, fournissant cinq fois plus de données visuelles et, partant, des images et un son spectaculaires. Ces percées technologiques sont maintenant possibles grâce aux améliorations majeures apportées à la technologie informatique et aux techniques d'affichage. Aucune industrie, aucune technologie ni aucune société ne peut, par elle-même, relever le défi que pose l'élaboration des produits haute définition. Tout comme le disque compact a révolutionné l'industrie de la musique, les produits haute définition révolutionneront les communications de masse. Grâce aux progrès majeurs réalisés dans le domaine de la technologie numérique, les produits haute définition révolutionneront l'informatique et ses applications. Grâce aux nouvelles méthodes de transmission, ces produits bouleverseront l'industrie de la radiodiffusion, les activités d'achat, l'électronique médicale, l'enseignement et les opérations bancaires. Bien entendu, la haute définition constitue l'un des principaux créneaux de recherche de l'industrie japonaise de l'électronique.

À mesure que le Japon lance une ligne complète de produits haute définition, il prend une longueur d'avance dans le domaine des appareils photographiques et enregistreurs, des fibres optiques et des systèmes de transmission par satellite, des magnétoscopes, des ordinateurs et des écrans cathodiques plats et, enfin, du logiciel, notamment l'infographie. Le Japon découvrira également de nouveaux marchés cibles à mesure que se resserreront les liens entre les médias et le matériel informatique.

En outre, une entreprise occupant une place dominante sur un marché peut rehausser la valeur d'un autre marché, ce dernier risquant d'être conquis par la firme dominante. Ainsi, il est logique que Sony, étant donné sa position dans l'univers de l'enregistrement audiophonique et vidéoscopique et du matériel de reproduction, ait racheté la société CBS Disques au prix de deux milliards de dollars. À cet égard, le marché des produits haute définition redéfinit et renforce tous les liens unissant les marchés interdépendants, y compris l'industrie informatique, les télécommunications, les médias de masse, l'électronique destinée aux consommateurs, l'industrie de la défense, le système bancaire et les technologies cruciales comme les semi-conducteurs.

L'exemple japonais illustre bien la notion de levier stratégique. Les Japonais s'assurent de pouvoir livrer des systèmes intégrés en créant d'abord un produit de consommation qui leur permet de percer de façon satisfaisante, sinon décisive dès le début, les marchés d'un secteur. Subséquemment, ces firmes remontent le long de la filière des sous-systèmes et des composantes, en améliorant

constamment le rendement ainsi que les procédés de fabrication et d'assemblage des produits. Cela confère à ces sociétés une supériorité technologique réelle dans tous les champs de compétences et les champs fonctionnels, supériorité qui leur permet d'entrer en concurrence dans ce secteur jusqu'à ce qu'ils aient trouvé un créneau décisif.

Leurs concurrents sont ainsi confrontés à un dilemme : doivent-ils livrer bataille face à cet assaut implacable sur les marchés du secteur — un combat exigeant des engagements à long terme en matière de technologie et de compétence — ou se retirer en grande partie ou complètement du marché?

Il est intéressant de constater que cette capacité de produire des systèmes intégrés destinés à des produits finis est également la stratégie adoptée par d'autres industries japonaises. L'exemple le plus patent est celui du secteur automobile; celui-ci a fait faire des pas de géant à l'industrie japonaise dans le domaine des matériaux, de la machinerie, de la robotique, des pièces automobiles, de la fabrication et des processus de gestion en général («production superefficace»), et même dans le domaine de l'électronique lui-même (*voir* la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» du Conseil des sciences du Canada, n° 2 — *Les pièces automobiles au Canada* et n° 4 — *Les véhicules automobiles au Canada*).

En conséquence, l'attraction du marché doit être considérée comme la variable commerciale déterminante du développement technologique dans le secteur de l'électronique.

Importance économique du secteur

Dans le secteur de l'électronique, les difficultés de définition ne se limitent pas simplement à la terminologie. Vu la pénétration de l'électronique, il est difficile d'évaluer la contribution économique du secteur, car, curieusement, l'électronique englobe les technologies de transformation, et, de ce fait, a des répercussions sur les structures et infrastructures économiques[5]. Toutefois, il s'agit là, et de loin, de l'un des secteurs industriels les plus vastes des pays industrialisés. À l'heure actuelle, il entre même en concurrence avec les secteurs traditionnels les plus importants. Par exemple, en 1986, les expéditions de l'industrie automobile américaine ont totalisé 162,4 milliards de dollars américains alors que celles du secteur américain de l'électronique ont atteint 198,3 milliards de dollars américains. Il est indéniable que l'industrie de l'automobile est elle-même une importante utilisatrice de produits électroniques. En fait, la société Delco — la filiale de General Motors dans le domaine des pièces électriques et électroniques — est devenue, à un moment donné, la firme qui produisait le plus grand nombre de puces aux États-Unis. Cela illustre bien la place prépondérante qu'occupe le secteur de l'électronique et, plus particulièrement, des semi-conducteurs.

Selon diverses sources, les recettes mondiales de l'industrie de l'électronique étaient d'environ 531 milliards de dollars américains en 1987 et s'élevaient à pas moins de 725 milliards de dollars américains en 1990[6]. Il n'est pas surprenant de noter qu'ensemble, les États-Unis, le Japon et les quatre grands européens (Allemagne, France, Italie et Royaume-Uni) représentent environ 75 p. 100 du marché mondial[7].

Il est difficile d'obtenir des données fiables sur les tendances récentes de la production et de la consommation de produits électroniques. Les chiffres fournis pour 1984 par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) font cependant ressortir trois faits dignes de mention (*voir* tableau 1). Premièrement, le Japon, les pays nouvellement industrialisés d'Asie et, dans un moindre mesure, l'Allemagne, sont les seuls pays à excédent d'exportation[8]. Deuxièmement, dès 1983, les États-Unis sont devenus un importateur net de produits électroniques. Troisièmement, pour ce qui est de la production et de la consommation, le Canada se situe en fin de liste des pays pour lesquels des données sont disponibles.

Tableau 1. Production et consommation de produits électroniques, 1984

	% de 380 milliards de dollars	
	Production	Consommation
États-Unis	45,4	47,6
Canada	1,3	2,4
Japon	18,6	9,8
Pays de l'OCDE	18,6	20,9
Allemagne	(4,8)	(4,7)
France	(4,1)	(4,2)
Royaume-Uni	(3,8)	(4,6)
Italie	(1,0)	(1,6)
Nouveaux pays industriels d'Extrême-Orient*	5,8	4,4
Autres pays	10,3	14,9
Total	100,0	100,9

Source : Données de l'OCDE.

* Pays nouvellement industrialisés.

Le secteur de l'électronique est une source importante d'emplois. Une fois de plus, étant donné que les frontières du secteur ne sont pas clairement définies, les chiffres varient. En 1984, l'électronique occupait de 5,4 à 9,3 p. 100 du nombre total d'employés du secteur manufacturier des pays industrialisés. Comme l'indique le tableau 2, le Canada était au dernier rang des pays étudiés.

Le marché et le secteur canadiens

En 1988, le marché de l'électronique au Canada était évalué à près de 15 milliards de dollars (*voir* tableau 3). Ce marché se subdivisait en six grandes catégories : les ordinateurs (34,2 p. 100), les semi-conducteurs et les pièces d'équipement (21,7 p. 100), les produits de consommation (19,3 p. 100), le matériel de télécommunication (17,1 p. 100), les instruments (5 p. 100), et les machines de bureau (2,7 p. 100). Ces chiffres excluent certains produits blancs *électriques* tels que les appareils électroménagers et incluent des produits bruns comme les récepteurs de télévision et d'autres produits électroniques de consommation courante.

À l'intérieur de ce marché, le secteur dépend fortement des importations. On a évalué le déficit commercial à près de 8,5 milliards de dollars pour 1988 (*voir* tableau 4). Les chances que ce déficit se résorbe sont minces. En fait, selon les projections fondées sur les données commerciales de la deuxième moitié des années 1980, le déficit continuera à s'aggraver[9].

Les entreprises canadiennes d'électronique visent trois grands marchés : les télécommunications, l'avionique (électronique aéronautique) et le traitement des données.

Tableau 2. Pourcentage des emplois liés à l'électronique dans le secteur manufacturier, 1984

	Pourcentage des emplois liés à l'électronique dans l'ensemble du secteur manufacturier	Croissance annuelle de l'emploi lié à l'électronique (en %)
Canada	5,4	4,4
France	5,5	n. d.
Allemagne	6,0	n. d.
Japon	7,0	9,0
Royaume-Uni	7,5	n. d.
États-Unis	9,3	4,5

Source : Données de l'OCDE.

n. d. = non disponible

Dans le secteur des télécommunications, le Canada jouit d'une présence remarquable, tant sur le plan technologique que sur celui de la commercialisation, en partie grâce à la société Northern Telecom Ltée, multinationale qui, si l'on se fonde sur ses ventes annuelles de huit milliards de dollars, se classe maintenant quatrième dans le domaine du matériel de télécommunication. Toutefois, un certain nombre de firmes plus modestes fournissent également des lignes de produits complémentaires et occupent des créneaux établis. Les sociétés canadiennes œuvrant dans le domaine de la technologie laser sont notamment Lumonics Inc. et Les Technologies MPB Inc. Lumonics est un chef de file mondial dans le domaine du laser à excimères; Les Technologies MPB Inc. jouissent d'une place de choix dans le domaine des télécommunications et d'autres genres de laser (pour obtenir une description plus complète du secteur des télécommunications, *voir* la série «Stratégies sectorielles en matière de technologie» du Conseil des sciences du Canada, n° 1 — *Les télécommunications au Canada*). Dans l'ensemble, c'est surtout grâce à la présence de Northern Telecom que le Canada est capable de produire des systèmes intégrés destinés au secteur des télécommunications.

Dans le domaine de l'avionique, le Canada compte plusieurs firmes qui fabriquent des simulateurs de vol de haute technologie pour les avions civils et militaires. La plus en vue de ces entreprises est CAE Industries Ltd., chef de file mondial dans le domaine de la technologie des simulateurs aérospatiaux. Cette société, qui emploie 3 500 personnes, a un chiffre de vente annuel d'environ 400 millions de dollars, dont 85 p. 100 représentent des ventes à l'exportation. CAE détient 60 p. 100 du marché mondial des simulateurs de vol d'avions commerciaux — ce qui la place presque dans une position dominante. On pourrait citer de nombreuses autres sociétés canadiennes d'avionique prospères.

Outre ces trois grands segments de marché, de nombreuses autres entreprises canadiennes se spécialisent dans certains créneaux, comme les produits de consommation électroniques (particulièrement les haut-parleurs de grande qualité), les prothèses auditives de haute technologie, l'équipement radar et militaire, et d'autres produits.

Sur ces marchés, les firmes canadiennes produisent à tous les niveaux de la chaîne (composantes, pièces d'équipement et systèmes), tout au moins pour combler une partie de leurs

Tableau 3. Sommaire de la consommation canadienne de produits électroniques, 1987 et 1988 (en millions de dollars canadiens)

	1987	1988
Matériel de télécommunication		
Expéditions	2 200,0	2 200,0
Importations	1 302,9	1 413,8
Exportations	1 373,0	1 074,7
Consommation	2 129,9	2 539,1
Semi-conducteurs et composantes		
Expéditions	865,0	923,0
Importations	1 741,5	3 883,8
Exportations	1 346,9	1 588,8
Consommation	2 259,6	3 218,0
Ordinateurs		
Expéditions	2 250,0	2 150,0
Importations	5 125,2	5 272,0
Exportations	2 466,4	2 351,7
Consommation	4 908,8	5 073,3
Machines de bureau		
Expéditions	125,0	158,0
Importations	513,0	294,9
Exportations	21,3	49,3
Consommation	616,7	403,6
Instruments		
Expéditions	280,0	298,0
Importations	435,0	1 057,9
Exportations	238,7	609,7
Consommation	476,3	746,2
Produits de consommation		
Expéditions	615,0	615,0
Importations	1 462,2	2 526,1
Exportations	114,2	282,1
Consommation	1 963,0	2 858,9
Consommation totale	12 354,3	14 839,1

Source : Peter Thorne, «The electronics market: The CEE annual survey of Canadian and world electronics trends», *Canadian Electronics Engineering*, septembre 1989, pp. 23-26.

besoins. La stratégie d'intégration verticale retenue par ces sociétés varie toutefois. Northern Telecom, par exemple, produit ses propres composantes expérimentales et sur mesure (puces), mais confie ce travail à des fonderies de l'extérieur lorsque c'est possible, c'est-à-dire lorsque la production devient assez importante pour justifier le recours à des installations de production à grande échelle telles que

Tableau 4. Sommaire des importations et des exportations canadiennes de produits électroniques, 1987 et 1988 (en milliers de dollars)

	Importations		Exportations	
	1987	1988	1987	1988
Matériel de télécommunication	1 302 939	1 413 813	1 373 034	1 074 692
Semi-conducteurs	1 613 753	1 915 485	818 310	663 527
Composantes	1 107 744	1 938 316	528 594	925 254
Ordinateurs	5 125 170	5 272 025	2 466 415	2 351 691
Machines de bureau	512 953	294 896	21 345	49 281
Instruments	434 992	1 057 859	238 666	609 714
Produits de consommation	1 462 155	2 526 067	114 211	282 223
Total	11 559 706	14 418 461	5 560 575	5 956 382

Source : Peter Thorne, «The electronics market: The CEE annual survey of Canadian and world electronics trends», *Canadian Electronics Engineering*, septembre 1989, pp. 23-26.

celles de la société LSI Logic, Inc. en Alberta. Par ailleurs, la société Mitel Corp. possède ses propres installations de fonderie pour les puces, dont 75 p. 100 sont destinées à la vente (c'est-à-dire qu'elle produit des puces pour des clients de l'extérieur).

La société Gennum Corp. de Burlington, en Ontario, est un cas intéressant : elle produit en miniature — tant au sens littéral que figuré — des systèmes intégrés destinés au marché des consommateurs. Elle détient 70 p. 100 du marché mondial de circuits intégrés pour prothèses auditives. Elle construit ses propres circuits dans une fonderie qui lui appartient. La société a mis au point un circuit intégré 100 fois plus petit que tous les autres circuits disponibles dans ce créneau. Aujourd'hui, près de 95 p. 100 de sa production est exportée.

Il est possible d'analyser la stratégie technologique d'une société en se référant à un modèle divisé en trois catégories : adoption et adaptation, innovation, et percée. Une entreprise adopte la démarche «adoption et adaptation», obtient sa technologie de sources externes et la modifie pour répondre à ses propres besoins. L'inventeur conserve les droits de propriété intellectuelle associés à cette technologie. Le concept d'innovation réfère ici au processus d'amélioration graduelle du rendement de la technologie ou à son application à de nouveaux produits ou processus. Des nouveaux droits de propriété intellectuelle sont instaurés par la société qui innove, mais les principes scientifiques existants continuent d'être utilisés. La percée fait référence à une démarche complètement nouvelle. La firme qui perce utilise de nouveaux principes scientifiques desquels découlent de nouveaux produits ou de nouveaux processus (*voir* l'annexe pour obtenir de plus amples renseignements sur les définitions de l'expression «stratégie technologique»).

La stratégie technologique utilisée par les sociétés dans le secteur canadien de l'électronique se classe presque exclusivement dans la catégorie innovation. Un nombre limité de stratégies «adoption-adaptation» ont été adoptées pour les technologies de système, particulièrement dans le domaine de la production des puces; en outre, certaines firmes utilisent la technologie «adoption-adaptation» pour produire de l'équipement à partir de prototypes élaborés à l'étranger. Une petite partie de la technologie est du type «percée», par exemple dans le domaine des télécommunications, où certains simulateurs et écrans d'affichage de la société CAE ont dû être mis au point à partir de principes entièrement nouveaux.

Le secteur dans son ensemble a consacré 1,2 milliard de dollars à la R-D interne (*voir* tableau 5). Les entreprises de télécommunication dépensent une somme colossale pour la recherche (plus de 50 p. 100) en comparaison de leur part de la valeur du marché total (17 p. 100)[10]. Cela reflète l'effort considérable consacré à la R-D industrielle par la société Recherches Bell-Northern Ltée, filiale de Northern Telecom investie d'un mandat de recherche et dont le budget annuel est d'environ 800 millions de dollars. Une fois de plus, il est évident que Northern Telecom est dotée d'une capacité de produire des systèmes intégrés. Les dépenses dans leur ensemble ont augmenté graduellement tout au long des années 1980. Comme l'indique le tableau 6, tous les sous-secteurs ont enregistré des augmentations réelles de R-D au cours de la période s'échelonnant de 1983 à 1988 et, dans l'ensemble, ont affiché un accroissement annuel moyen de plus de 8 p. 100 [11]. Les dépenses en R-D, exprimées en tant que pourcentage du chiffre d'affaires des entreprises, sont en général très élevées pour le secteur de l'électronique (*voir* tableau 7). En 1988, les dépenses moyennes en R-D engagées par les industries de l'électronique représentaient 7,9 p. 100 des ventes, par opposition à la moyenne de 1,5 p. 100 pour l'ensemble des industries du secteur manufacturier[12]. Les dépenses en R-D ont augmenté de façon constante au cours des années 1980, soit de 3 p. 100 par année entre 1983 et 1988.

Tableau 5. Dépenses en R-D engagées par le secteur canadien de l'électronique en dollars courant, 1983-1988 (en millions de dollars)

	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Matériel de télécommunication	358	400	472	530	550	591
Pièces et composantes électroniques	22	25	28	27	27	28
Autre équipement électronique	133	168	231	244	261	277
Machines de bureau	115	141	165	197	218	247
Équipement scientifique et professionnel	23	31	40	47	42	44
Total	651	765	936	1 045	1 098	1 187

Source : Statistique Canada, *Statistiques sur la recherche et le développement industriels, 1988*, Ottawa, 1990, p. 66.

Il n'est pas surprenant de constater que l'étude entreprise par Statistique Canada sur la R-D industrielle révèle que les firmes d'électronique contrôlées par des intérêts canadiens dépensent une part beaucoup plus grande de leurs revenus en R-D que les sociétés contrôlées par des intérêts étrangers. Dans le sous-secteur des télécommunications, par exemple, les sociétés contrôlées par des intérêts canadiens consacrent 17,8 p. 100 de leur chiffre d'affaires à la R-D interne alors que leurs homologues étrangers y consacrent 11,6 p. 100. En outre, les filiales canadiennes semblent consacrer à la R-D une proportion considérablement moindre de leurs revenus que la société mère. Ainsi, l'Association canadienne des entreprises de services en informatique fait remarquer qu'IBM Canada consacre 3 p. 100 de ses revenus à la R-D comparativement à 10 p. 100 pour l'ensemble de la société

Tableau 6. Dépenses en R-D engagées par le secteur canadien de l'électronique en dollars constants, 1983-1988 (en millions de dollars)

	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Matériel de télécommunication	401	449	506	503	532	533
Pièces et composantes électroniques	22	26	28	25	26	25
Autre équipement électronique	130	159	212	228	224	222
Machines de bureau	123	145	158	193	208	219
Équipement scientifique et professionnel	22	28	35	41	42	38
Total	698	807	939	990	1 032	1 037

Source : Statistique Canada, *Statistiques sur la recherche et le développement industriels, 1988*, Ottawa, 1990, p. 66.

Tableau 7. Dépenses en R-D électronique au Canada exprimées en pourcentage du chiffre d'affaires des entreprises, 1983-1988

	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Matériel de télécommunication	13,2	15,5	16,2	17,8	16,9	17,0
Pièces et composantes électroniques	5,3	6,0	7,4	6,8	5,9	5,1
Autre équipement électronique	10,7	9,2	13,3	12,7	12,1	11,3
Machines de bureau	2,7	2,8	3,2	3,6	3,8	3,4
Équipement scientifique et professionnel	2,8	2,8	3,3	3,5	2,7	2,5
Moyenne du secteur	6,94	7,26	8,68	8,88	8,28	7,86

Source : Statistique Canada, *Statistiques sur la recherche et le développement industriels, 1988*, Ottawa, 1990, p. 66.

à l'échelle mondiale; Digital Equipment du Canada Ltée dépense 3 p. 100 au Canada et 11 p. 100 à l'échelle mondiale[13]. Toutefois, les 3 p. 100 alloués à la R-D par ces firmes constituent un taux plus élevé que les sommes dépensées par les industries canadiennes dans tous les autres secteurs.

Sur le plan technologique, le secteur canadien de l'électronique est généralement concurrentiel par rapport aux industries étrangères. Toutefois, il est trop petit. Il semble également être fragmenté, sauf dans le domaine des télécommunications. Le secteur est également limité dans sa capacité de produire des systèmes intégrés.

Survol de l'industrie et du marché mondiaux des semi-conducteurs

Les semi-conducteurs représentent les modules élémentaires ou la matière première de l'ensemble des systèmes et des biens électroniques, et, à ce titre, ils jouent un rôle primordial dans le domaine de l'électronique et dans les industries nouvelles dites de technologie de l'information : les télécommunications, l'informatique, les produits de consommation électroniques, les systèmes de fabrication automatisés, le matériel de bureau, etc.

Les semi-conducteurs jouent un rôle stratégique de plus en plus important dans la croissance, le développement et la modernisation des économies de tous les pays industrialisés, et ce, pour deux raisons. D'abord, les applications des semi-conducteurs, comme l'électronique et la technologie de l'information, représentent d'importants marchés à forte croissance. Par exemple, la technologie des semi-conducteurs est au centre des efforts visant à automatiser la production et à réduire les besoins d'énergie. La technologie joue également un rôle plus important pour les systèmes de défense; cette situation a renforcé à son tour le rôle de l'industrie en matière de sécurité nationale. Ensuite, la proportion des composantes à base de semi-conducteurs dans ces systèmes électroniques à forte croissance augmente elle aussi.

Voilà qui explique pourquoi de nombreux pays considèrent qu'une industrie de production de semi-conducteurs prospère est essentielle pour améliorer le rendement de toute leur économie nationale. Toutefois, ce point de vue peut s'avérer discutable dans le contexte canadien.

La demande d'utilisation finale des semi-conducteurs dans divers pays a donné lieu à des forces technologiques et commerciales distinctes. La présente section passe en revue les marchés et l'industrie des semi-conducteurs dans un contexte mondial, pour ensuite étudier les diverses stratégies de R-D mises de l'avant par les entreprises et leurs gouvernements.

Le marché

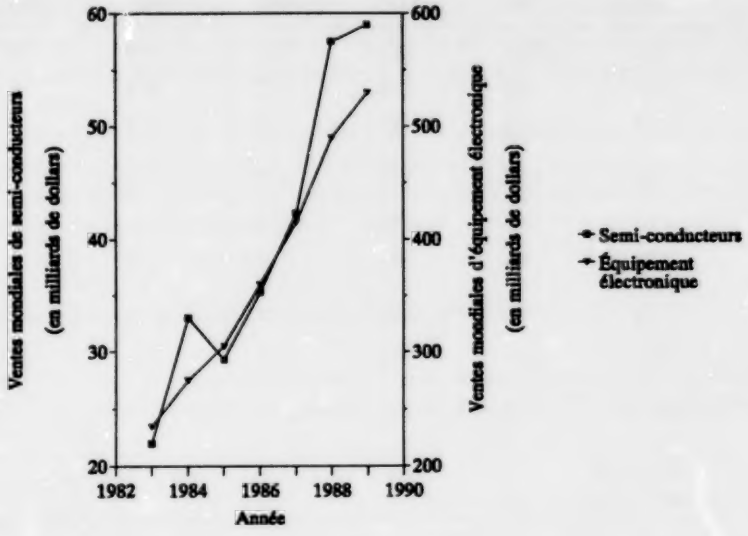
L'industrie mondiale des semi-conducteurs, dont les ventes actuelles s'élèvent à environ 60 milliards de dollars américains (dollars de 1989), s'est développée au rythme d'environ 14 p. 100 par année (taux composé) — dépassant ainsi les ventes mondiales d'équipement électronique, qui ont connu une croissance d'environ 12 p. 100 par année (*voir* figure 1). La valeur du contenu en semi-conducteurs du matériel électronique est passée de 9,4 p. 100 en 1983 à 11 p. 100 en 1989.

Les microcircuits traditionnels dotés de semi-conducteurs au silicium sont maintenant remplacés par des microcircuits plus rapides à base de conducteurs à l'arséniure de gallium. Ceux-ci devraient conquérir une part importante du marché dans les années 1990 (*voir* figure 2). Le marché militaire, en particulier celui de la guerre électronique, favorise la mise au point des microcircuits à l'arséniure de gallium.

Le marché des composantes opto-électroniques est un petit marché connexe parvenu à une certaine maturité dans le domaine de la technologie contemporaine (*voir* tableau 8). Toutefois, la situation pourrait fort bien changer avec l'avènement des circuits intégrés opto-électroniques (photoniques), qui devraient faire leur apparition sur les marchés dans les années 1990.

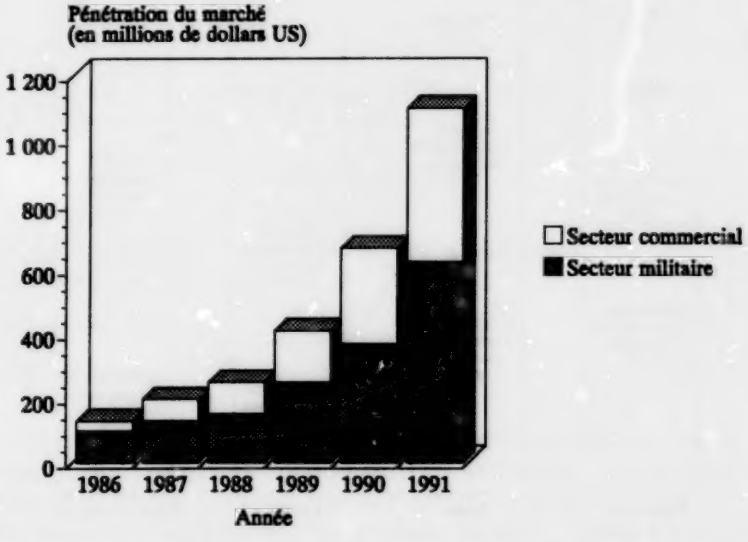
Les États-Unis, le Japon, l'Europe et le reste du monde se partagent le marché mondial d'utilisation finale des semi-conducteurs (*voir* figure 3). Jusqu'ici, l'industrie de l'informatique a été le principal moteur du développement technologique de l'industrie mondiale des semi-conducteurs, et elle continuera vraisemblablement à en être un important facteur. Toutefois, d'autres secteurs tels que les télécommunications, les produits de consommation électroniques et les industries automobiles ont de

Figure 1. Ventes mondiales de semi-conducteurs et d'équipement électronique



Source : NGL Consulting Ltd., *The semiconductor industry*, rapport préparé à contrat pour le Conseil des sciences du Canada, 1991 (inédit).

Figure 2. Tendances du marché mondial des microcircuits à l'arséniure de gallium



Source : NGL Consulting Ltd., *The semiconductor industry*, rapport préparé à contrat pour le Conseil des sciences du Canada, 1991 (inédit).

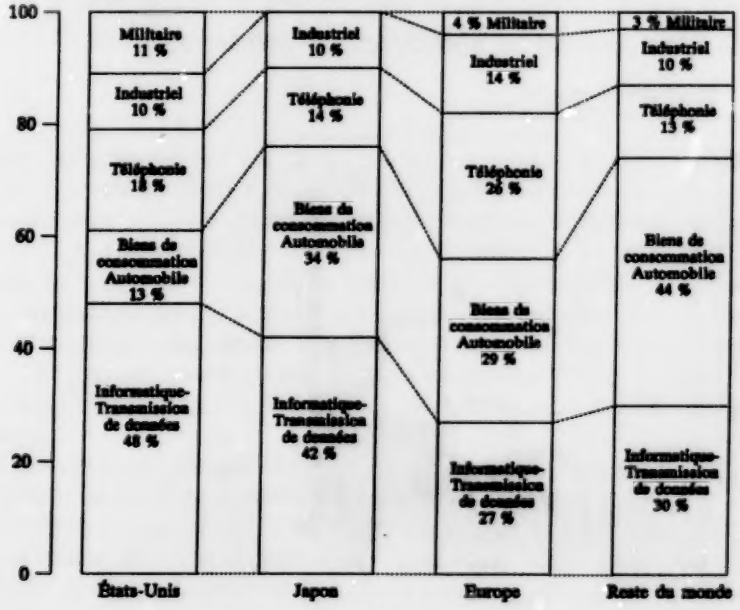
Tableau 8. Le marché opto-électronique américain, 1988-1994 (en millions de dollars)

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
DEL-DELIR	224	242	261	283	304	327	353
Écrans DEL	134	140	146	152	157	163	169
Lasers à diode	54	55	58	64	71	81	90
Coupleurs opto-électroniques	120	130	140	151	163	176	190
Photodétecteurs	68	73	79	86	96	104	112
Piles solaires	54	58	63	67	74	81	88
Circuits intégrés optiques	8	11	16	22	31	42	56
Total	662	709	763	825	896	974	1 058

Source : Frost and Sullivan inc., *The Optoelectronic Market*, New York, 1990.

DEL : diode électroluminescente
DELIR : diode électroluminescente à infrarouges

Figure 3. Marché mondial d'utilisation finale des semi-conducteurs, 1989

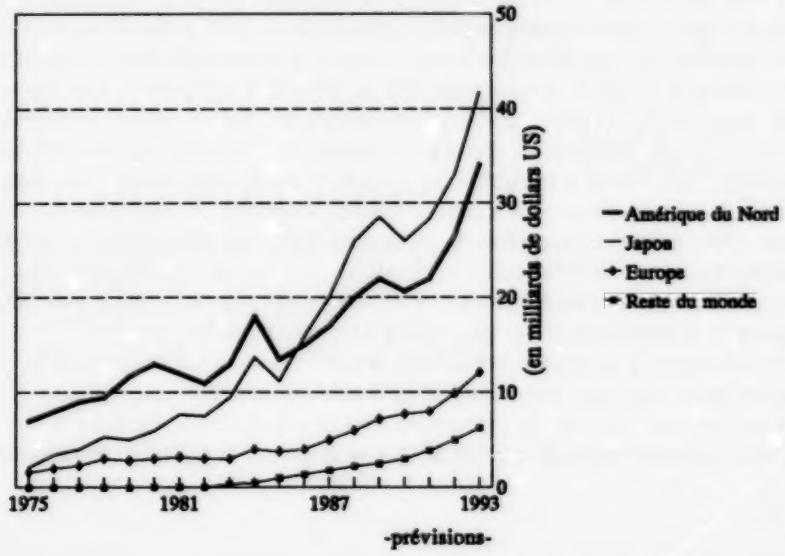


Source : NGL Consulting Ltd., «Integrated Circuit Engineering», *The semiconductor industry*, rapport préparé à contrat pour le Conseil des sciences du Canada, 1989 (inédit).

plus en plus tiré profit de la technologie des semi-conducteurs. Le marché mondial du matériel de télécommunication, par exemple, devrait tripler d'ici l'an 2000[14]. Cette croissance engendrera d'importants débouchés pour les semi-conducteurs à mesure que davantage de renseignements seront intégrés au réseau mondial des télécommunications. De toute évidence, cela signifie qu'il existe davantage de perspectives d'utilisation pour le genre de croissance synergique corrélée que la stratégie japonaise a rendue célèbre.

La répartition régionale des ventes mondiales de semi-conducteurs (*voir* figure 4) illustre la forte croissance constante prévue, particulièrement au Japon et en Amérique du Nord. Les ventes mondiales pourraient atteindre quelque 100 milliards de dollars américains en 1993, 125 milliards d'ici 1995 — soit le double de la valeur des ventes de 1989.

Figure 4. Production régionale de semi-conducteurs aux prix de 1988



Source : Dataquest Inc., *dans* NGL Consulting Ltd., *The semiconductor industry*, rapport préparé pour le Conseil des sciences du Canada, 1989 (inédit).

Nouvelles applications

Les semi-conducteurs trouvent leurs principales applications dans les domaines de la téléphonie, des biens de consommation, de l'automobile, du traitement sur ordinateur, du traitement des données et des activités industrielles et militaires. Les tendances sont décrites ci-après.

Comme la plupart des segments de l'électronique, les télécommunications constituent un marché à forte croissance. Le marché mondial du matériel de télécommunication devrait atteindre plus de 300 milliards de dollars américains d'ici l'an 2000, alors qu'il était de 94 milliards de dollars américains en 1989. Étant donné que l'équipement électronique en général contient de plus en plus de

semi-conducteurs, le matériel de télécommunication offre un important débouché aux entreprises qui fabriquent les semi-conducteurs. Par exemple, en 1990, la valeur des circuits intégrés entrant dans la fabrication du matériel de télécommunication était évaluée à environ 15 p. 100 [15]. S'il n'y a aucun changement significatif d'ici l'an 2000, ce qui est peu probable, le marché mondial des circuits intégrés destinés au matériel de télécommunication pourrait atteindre quelque 45 milliards de dollars américains au tournant du siècle.

Les circuits intégrés à base de silicium étaient un sous-produit du matériel militaire américain dans les années 1950; les applications civiles ont été mises au point ultérieurement. En raison de la forte demande commerciale depuis le début des années 1980, particulièrement dans le secteur de la consommation, les fabricants de circuits intégrés ne dépendent plus de l'industrie de la défense. Néanmoins, le marché militaire stimule la mise au point de nouveaux semi-conducteurs et de microcircuits à l'arséniure de gallium, et de nombreux experts sont convaincus que le financement, par le secteur militaire, de la R-D sur de nouveaux matériaux a clairement un effet d'impulsion sur l'industrie des semi-conducteurs[16].

Au sein même du marché militaire, la guerre électronique exige en particulier l'intégration à très grande échelle. La gamme de fréquences des dispositifs de la guerre électronique s'élargit constamment pour englober des composantes à micro-ondes, à ondes opto-électriques et à ondes millimétriques présentant une grande polyvalence. Tel qu'illustré à la figure 3, aux États-Unis, les besoins de l'armée en semi-conducteurs sont les plus importants. Sur ce marché militaire, la guerre électronique représente quatre milliards de dollars américains de dépenses. Le marché non américain de la guerre électronique est évalué à environ 1,3 milliard de dollars par année[17]. Le marché des composantes opto-électroniques est appelé à connaître une croissance considérable. On s'attend, pour le début des années 1990, à un taux composé de croissance s'élevant en moyenne à 33 p.100 environ, l'ensemble du marché américain devant atteindre 56 millions de dollars américains d'ici 1994 (*voir* tableau 9a et 9b). Les dispositifs opto-électroniques devraient devenir des éléments fondamentaux des dispositifs commerciaux et militaires et des dispositifs de consommation.

Les semi-conducteurs sont également utilisés comme lasers. Comme on peut le constater au tableau 10, le marché américain des lasers à diode ou à semi-conducteurs est réduit — 28 millions de dollars américains ou environ 9 p. 100 de l'ensemble du marché du laser. Ce dernier devrait cependant connaître un taux de croissance annuelle de 5,6 p. 100 au cours de la période s'échelonnant de 1984 à 1994[18].

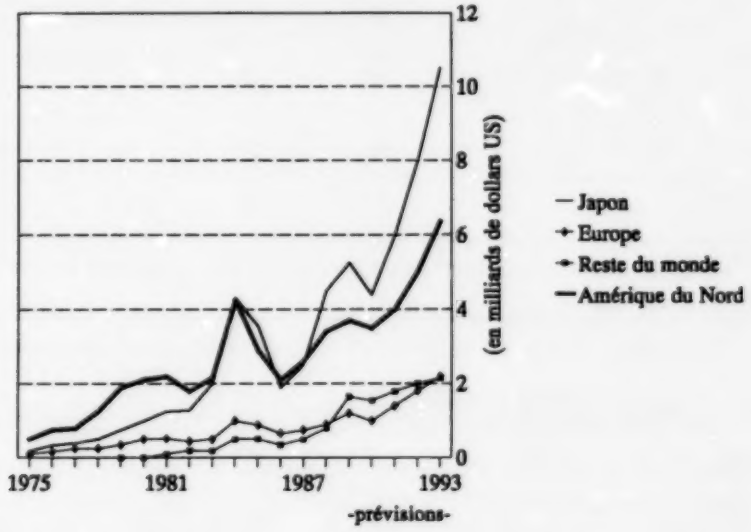
L'industrie

Les 10 principales sociétés mondiales de semi-conducteurs sont énumérées au tableau 11. La société IBM est également un important producteur de semi-conducteurs, mais puisque sa production répond à ses besoins internes exclusivement, elle ne constitue pas un concurrent sur le marché international. Chaque transition technologique dans le domaine des semi-conducteurs a été accompagnée d'ajustements majeurs parmi les principaux fournisseurs du marché mondial. En fait, l'industrie a connu une réorientation presque complète au cours des trente dernières années.

La complication et l'intégration des circuits a engendré deux tendances dignes de mention dans l'industrie des semi-conducteurs. La première a obligé l'industrie à produire de grandes quantités de composantes relativement standard à un faible prix unitaire, en utilisant de nouvelles techniques de fabrication. Toutefois, les nouvelles installations de fabrication coûtent cher. Par exemple, une installation permettant de produire un volume élevé de semi-conducteurs à capacité de mémoire coûte au minimum 250 millions de dollars américains; vers l'an 2000, les coûts d'une usine utilisant la lithographie aux rayons X devraient atteindre jusqu'à un milliard de dollars. Seules les plus grandes

sociétés intégrées horizontalement ou verticalement peuvent se permettre d'investir dans la production de nouveaux semi-conducteurs. Étant donné le coût élevé des installations de fabrication, on s'attend à une augmentation spectaculaire des investissements au cours des cinq prochaines années, particulièrement au Japon (*voir* figure 5). En outre, étant donné ces augmentations des coûts des investissements, la technologie des semi-conducteurs risque d'être ralentie dans sa course vers le progrès.

Figure 5. Dépenses en capitaux dans l'industrie des semi-conducteurs aux prix de 1988



Source : Dataquest Inc., *dans* NGL Consulting Ltd., *The semiconductor industry*, rapport préparé à contrat pour le Conseil des sciences du Canada, 1989 (inédit).

La deuxième tendance s'oppose directement à la première, en ce sens que les nouveaux marchés à créneaux sont de plus en plus alimentés en circuits intégrés propres à une application (CIPA) ou fabriqués sur mesure. Les CIPA sont devenus rapidement un sous-secteur florissant de l'industrie des semi-conducteurs. Dans le passé, les fabricants de composantes électroniques s'approvisionnaient en puces commerciales, qui sont des petits circuits intégrés produits en grandes quantités par un nombre relativement restreint de fournisseurs. Avec l'intégration de circuits complexes sur puces, les firmes d'électronique ont exigé des puces de plus en plus perfectionnées pour économiser de l'espace et améliorer la fiabilité de leurs composantes. Entre 1982 et 1987, le marché des CIPA a connu en moyenne un taux composé de croissance de 38 p. 100 par année. Selon la firme d'experts-conseils Integrated Circuit Engineering Corp. sise à Scottsdale, en Arizona, les ventes mondiales de CIPA passeront de 8,4 milliards de dollars américains en 1989 à 15,6 milliards en 1994, c'est-à-dire de 18,1 p. 100 du marché total des circuits intégrés à 20,9 p. 100 de ce marché[19].

Tableau 9a. Le marché américain des circuits opto-électroniques, 1988-1994 (en millions de dollars)

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Instruments et secteur industriel	4	5	7	9	11	14	17
Ordinateurs et communications	2	3	4	5	7	10	15
Biens de consommation et automobiles	—	—	1	2	5	8	12
Militaire et aérospatial	2	3	4	6	8	10	12
Total	8	11	16	22	31	42	56

Tableau 9b. Parts et taux de croissance moyen composé (TCMC) par segments du marché, 1988-1994

		Parts du marché (en %)	
	TCMC (en %)	1988	1994
Instruments et secteur industriel	27	50	30
Ordinateurs et communications	40	25	27
Biens de consommation et automobiles	—	—	21
Militaire et aérospatial	35	25	21
Moyenne	34*		

Source : Frost and Sullivan, Inc., *The Optoelectronic Market*, New York, 1990.

* Excluant les biens de consommation et les automobiles

La diffusion de systèmes relativement bon marché d'automatisation informatique de la conception électronique (SAICE) a réduit considérablement le coût de conception des microcircuits, en plus de stimuler le développement des CIPA. En outre, le coût des installations de miniproduction des CIPA, qui varie entre 50 et 100 millions de dollars américains, est bien moins élevé que celui des grandes usines (environ 500 millions de dollars américains).

Tableau 10. Estimation des ventes de lasers aux États-Unis, 1989

Type de laser	Estimation des ventes aux États-Unis (en millions de dollars US)	Estimation du pourcentage du marché américain
Ion	76	24,2
CO_2	62	19,7
Semi-conducteur	58	18,5
HeNe	38	12,1
Diode (semi-conducteur)	28	8,9
Colorant	21	6,7
Excimère	17	5,4
HeCd	8	2,6
Autres*	6	1,9
Total	314	100,0

Source : Frost and Sullivan, Inc., *Industrial Laser Market 1990*, New York, 1990.

* Comprend le monoxyde de carbone, l'azote, le multigaz et les conceptions à vapeur métallique.

Toutefois, on ne peut pas en déduire qu'une industrie distincte de CIPA serait une panacée dans le monde des affaires. Suite aux progrès réalisés dans la technologie de conception, la technologie de conception des puces se dissocie de la technologie de fabrication de celles-ci. Grâce aux SAICE, les semi-conducteurs perfectionnés sont de plus en plus faciles à concevoir. Leur conception, qui se faisait manuellement à l'aide d'un ordinateur, devient rapidement une activité technique complètement automatisée et informatisée[20]. La levée des obstacles à la conception des puces a entraîné la création d'un secteur indépendant de conception des semi-conducteurs et favorisé un processus de conception interne axé sur le consommateur final. Ces tendances devraient se poursuivre étant donné la hausse rapide des coûts des installations de fabrication à petite échelle, qui force les concepteurs de CIPA et leurs utilisateurs à continuer de faire appel aux fonderies existantes au lieu de construire la leur. En fait, on s'attend à ce que des installations de minifabrication ferment leurs portes au cours des années 1990; entre 30 et 40 p. 100 des quelque 80 fournisseurs répartis dans le monde entier pourraient disparaître d'ici l'an 2000[21]. En effet, la production de puces deviendra une compétence clé des fonderies florissantes, qui s'occuperont exclusivement de la fabrication des CIPA.

Ces tendances annoncent une restructuration industrielle du secteur des semi-conducteurs. La dissociation des procédés technologiques présente de grands espoirs, mais également des risques importants pour les petites comme pour les grandes entreprises. Les stratégies commerciales et les politiques gouvernementales sont actuellement élaborées en fonction de ces tendances, dans l'espoir que les industries nationales de fabrication de semi-conducteurs prospèrent et que les économies nationales fleurissent.

Tableau 11. Principaux fabricants de semi-conducteurs sur le marché mondial, 1988*

Société	Ventes en 1988 (en millions de dollars)	Pourcentage d'augmentation par rapport à 1987
NEC (Japon)	4 534	34,6
Toshiba (Japon)	4 302	42,0
Hitachi (Japon)	3 506	33,9
Motorola (États-Unis)	3 035	24,8
Texas Instruments (États-Unis)	2 741	28,9
Fujitsu (Japon)	2 359	31,0
Intel (États-Unis)	2 350	57,6
Mitsubishi (Japon)	2 278	52,7
Matsushita (Japon)	1 886	29,4
Philips (Pays-Bas)	1 764	10,1

Source : Dataquest, San José, 1990.

* D'après les ventes mondiales

Investissements et stratégies de R-D

Les investissements actuels en R-D et les stratégies adoptées par les industries américaines et européennes sont fondés sur le fait qu'il faut rattraper le retard sur le Japon. Il en coûtera beaucoup pour récupérer l'avantage concurrentiel sur le plan de la technologie des semi-conducteurs et des fonderies; une aide gouvernementale s'impose donc.

Japon

Jusqu'à la fin des années 1970, le Japon essayait de rattraper le retard qu'il avait pris sur les États-Unis. Il importait la technologie américaine et les biens de production tout en limitant la pénétration des importations et les investissements étrangers. À cette époque, le ministère de l'Industrie et du Commerce extérieur (MICE) avait reconnu que le Japon ne pourrait pas être un concurrent de taille dans le domaine de l'électronique si sa technologie des semi-conducteurs restait à la remorque de la technologie américaine. Le MICE a organisé un projet national d'intégration à très grande échelle, avancé 280 millions de dollars américains et obtenu un autre 80 millions de dollars américains de la société Nippon Telegraph & Telephone afin de permettre à cinq sociétés œuvrant dans le domaine des semi-conducteurs et des ordinateurs de concevoir une technologie de pointe en matière de circuits intégrés. Cette mesure a été suivie par la mise sur pied d'un nombre considérable d'autres programmes nationaux, également coordonnés par le MICE, dans des domaines tels que la lithographie au laser, l'opto-électronique, les dispositifs à grande vitesse, la supraconductivité et le rayonnement synchrotonique pour les dispositifs fonctionnant sur des longueurs d'onde situés en deçà de 0,5 micromètre. Ces programmes ont donné un fameux coup de pouce à l'industrie japonaise.

Les sociétés japonaises contrôlent maintenant environ 40 p. 100 du marché mondial des puces et 70 p. 100 du marché des puces à mémoire vive dynamique (DRAM)[22]. Ne pouvant se contenter d'une simple amélioration de leur position sur le marché de la production des semi-conducteurs de base, les entreprises japonaises fabriquent de plus en plus sur mesure des semi-conducteurs complexes, notamment les CIPA et les puces à jeu réduit d'instructions. Six des 10 plus grands producteurs mondiaux de semi-conducteurs sont des entreprises japonaises : Nippon Electronic Co. (NEC), Toshiba, Hitachi, Fujitsu, Mitsubishi et Matsushita (*voir* tableau 11).

La structure de l'industrie japonaise facilite la commercialisation coûteuse des progrès de la R-D. Les fabricants japonais de circuits intégrés sont généralement associés à des *keiretsu*, c'est-à-dire des familles de sociétés formées autour d'institutions financières centrales (par exemple, une banque) qui investissent à long terme et fournissent la plus grosse partie des capitaux requis. Le tableau 12 illustre le nombre prépondérant de sociétés financières qui détiennent des parts de la NEC, membre du groupe Sumitomo.

Tableau 12. Liste partielle des actionnaires de la NEC, 1986

	Pourcentage d'actions
Sumitomo Life Insurance	7,1
Banque Sumitomo	5,0
Sumitomo Trust	4,1
Nippon Life Insurance	3,1
Dai-chi Mutual Life Insurance	2,9
Sumitomo Marine and Fire Insurance	2,8
Sumitomo Electric	2,4
Sumitomo Corp.	2,3

Source : Dataquest Inc., *dans* NGL Consulting Ltd., *The semiconductor industry*, rapport préparé à contrat pour le Conseil des sciences du Canada, 1991 (inédit).

Ces grandes institutions détiennent des intérêts financiers dans plusieurs entreprises d'électronique de même que dans les industries auxiliaires. Il est donc certain que le capital sera disponible aux fins d'investissement si celui-ci respecte les plans stratégiques à long terme. La coopération est donc indispensable.

Les liens étroits qu'entretiennent les entreprises avec les institutions financières n'expliquent qu'en partie le succès remporté par les entreprises japonaises de semi-conducteurs et, à vrai dire, celui des sociétés japonaises d'électronique en général. Dans l'ouvrage intitulé *The Breakthrough Illusion: Corporate America's Failure to Move from Innovation to Mass Production*, Richard Florida et Martin Kenney avancent de façon convaincante que trois caractéristiques importantes de l'industrie japonaise sont à l'origine de l'extraordinaire succès de ce pays dans le domaine de la technologie de pointe : la taille, l'échelle et la croissance synergique.

La taille et l'échelle extraordinaires des entreprises japonaises d'électronique procurent des avantages de taille, notamment un important coussin financier en cas de gâchage des prix et la création

de vastes marchés internes pour les biens de haute technologie. Par exemple, les divisions de semi-conducteurs des sociétés japonaises peuvent dépendre d'autres divisions de la société, qui consommeront jusqu'à 35 p. 100 de leur production. En outre, l'intégration leur procure un marché intérieur prêt à accueillir leurs composantes et leur permet de concevoir des puces adaptées aux produits en aval fabriqués par leur clientèle[23].

Cette intégration assure également une croissance synergique. Ensemble, six firmes — NEC, Hitachi, Fujitsu, Toshiba, Matsushita et Mitsubishi — sont à l'origine de près des deux tiers de l'ensemble des ventes de semi-conducteurs, de circuits intégrés, d'ordinateurs et de machines-outils informatisées au Japon[24]. Les ventes de toutes ces firmes augmentent rapidement. Chacune a entrepris de maintenir une croissance rapide, s'efforçant sans cesse de conquérir de nouveaux marchés à partir de sa base technologique actuelle, en constante évolution. Il s'agit bien sûr d'une simple reformulation de la stratégie japonaise de levier que nous avons décrite pour le marché de l'électronique dans son ensemble.

États-Unis

Aux États-Unis, les fabricants de semi-conducteurs ont pris de l'expansion grâce à leur esprit d'entreprise, mais n'ont pas appliqué les principes de rationalisation qui sont bien vite devenus indispensables face à la vigueur de la concurrence japonaise. Le département de la Défense, qui désirait réduire le poids des missiles et des satellites américains en raison de la puissance de lancement limitée des fusées, a encouragé les premières innovations. Alors que les contrats de R-D octroyés par les militaires ont débouché sur la fondation de plusieurs fabriques américaines de puces, la recherche financée par la défense n'a pas été directement à l'origine des grandes innovations dans le domaine des semi-conducteurs[25]. Vers le milieu des années 1970, la demande militaire s'est effritée. Les politiques d'approvisionnement de défense, par suite d'une intervention du Congrès, se sont détournées de la R-D générique au profit d'une technologie strictement militaire ayant des retombées commerciales limitées. En outre, la politique antitrust a découragé la collaboration sectorielle. L'orientation favorable aux investissements à court terme adoptée par le système industriel américain allait à l'encontre des stratégies d'investissement à long terme requises pour financer la R-D sans cesse accrue et les dépenses en capital nécessaires à la mise au point de la génération suivante de circuits intégrés. Au début des années 1980, les États-Unis ont commencé à accuser un déficit commercial avec le Japon pour ce qui est des semi-conducteurs.

Les États-Unis ont réagi à cette situation en imposant des pénalités à l'importation et en créant Sematech (SEmiconductor MAnufacturing TECHnology). Sematech, consortium de recherche réunissant les principales entreprises américaines de semi-conducteurs, reçoit du département de la Défense environ la moitié de son budget annuel, qui s'élève à 250 millions de dollars américains. Son principal objectif est d'aider les États-Unis à demeurer ou à redevenir un chef de file dans la technologie de la fabrication. À cette fin, Sematech élabore et diffuse des guides généraux portant sur les meilleures pratiques de fabrication dans toute l'industrie des semi-conducteurs. Il est également question de créer une organisation semblable à Sematech dans le domaine de la fabrication des composantes opto-électroniques. Toutefois, on reconnaît de plus en plus que les politiques doivent encourager la rationalisation structurelle de l'industrie si l'on veut relever le défi japonais[26].

Europe

L'industrie européenne accuse encore plus de retard dans la mise au point de circuits intégrés de haute technologie. Plusieurs programmes de R-D ont été établis afin de l'aider à rattraper ce retard. Par exemple, le programme Megaproject a été lancé en 1985 à un coût de deux milliards de dollars américains, auquel vient de succéder récemment l'Initiative européenne conjointe sur le silicium des

semi-conducteurs, un système de partage des coûts qui devrait dépasser les quatre milliards de dollars américains pendant son cycle de vie de huit ans.

Coopération globale

L'accroissement constant du coût en capital requis pour créer et fabriquer de nouveaux produits brevetés pousse les fabriques de semi-conducteurs à collaborer davantage[27]. Le coût de production croissant de nouveaux microcircuits rend indispensables les alliances internationales. Par exemple, la conception et la fabrication de nouvelles mémoires DRAM de quatre mégabits devraient coûter deux milliards de dollars américains. Les coûts de conception et de fabrication des générations suivantes pourraient doubler, alors que la période séparant deux générations de microcircuits devrait être ramenée à trois ans. Pour partager les dépenses et réduire les risques, de nouvelles alliances stratégiques voient le jour. Ainsi, Hitachi et Texas Instruments ont uni leurs efforts pour concevoir une mémoire DRAM de 16 mégabits. IBM coopérera avec Siemens afin de mettre au point une mémoire DRAM de 64 mégabits, dont la production devrait être entreprise d'ici 1995. L'industrie commence nettement à s'internationaliser.

Alors que les sociétés américaines et européennes favorisent le développement des mémoires DRAM de 16 et 64 mégabits au moyen d'alliances, les sociétés japonaises présentent déjà des dispositifs de 64 mégabits à des foires commerciales. Cela incite apparemment certains fabricants de semi-conducteurs non encore convertis à la technologie de 16 mégabits à envisager de passer directement aux 64 mégabits. Fujitsu a annoncé en janvier qu'elle dépenserait 770 millions de dollars américains en 1992 pour aménager une fabrique de puces de 64 mégabits[28].

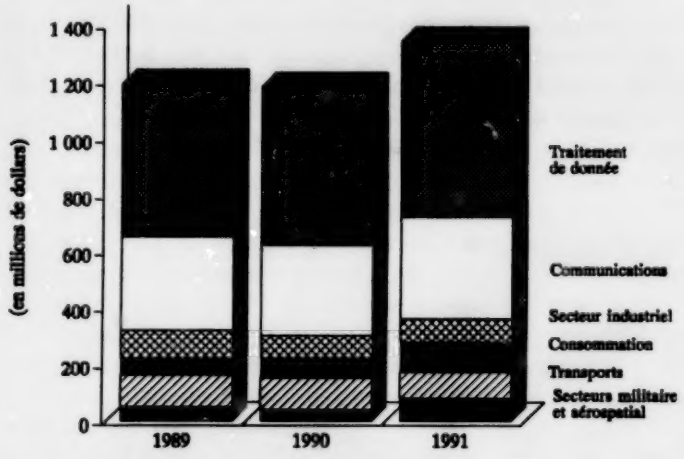
Il est évident que l'industrie japonaise règne en maître.

Survol de l'industrie et du marché canadiens des semi-conducteurs

Le marché

Le marché canadien des semi-conducteurs s'élève à 1,2 milliard de dollars (*voir* figure 6), soit 2 p. 100 du marché mondial. Le matériel de traitement des données et l'équipement de communications représentent respectivement environ 45 et 25 p. 100 de cette somme. Toutefois, étant donné que la production canadienne des semi-conducteurs est relativement modeste (339 millions de dollars, dont environ la moitié est exportée), le marché canadien est surtout alimenté par les importations — d'une valeur approximative d'un milliard de dollars.

Figure 6. Le marché canadien des semi-conducteurs



Source : Dataquest Inc., *dans* NGL Consulting Ltd., *The semiconductor industry*, rapport préparé à contrat pour le Conseil des sciences du Canada, 1989 (inédit).

Le marché canadien des semi-conducteurs est un segment du marché plus vaste de l'électronique qui représente environ 22 milliards de dollars, soit 3 p. 100 du marché mondial de l'électronique. Environ neuf milliards de dollars de l'ensemble du marché canadien proviennent de sources canadiennes. En 1989, le pays accusait un déficit commercial global d'environ six milliards de dollars dans le secteur de l'électronique.

Le Canada représente un marché relativement modeste aussi bien pour les composantes des semi-conducteurs que pour les produits électroniques. Bien que l'industrie mondiale de l'électronique et des semi-conducteurs soit dominée par des firmes japonaises et américaines, et malgré que la taille de l'industrie canadienne dans ces domaines soit relativement petite, le Canada domine certains créneaux (*voir* tableau 13).

Tableau 13. Créneaux de l'industrie canadienne de l'électronique

	Facteurs clés de réussite	Chefs de file mondiaux	Entreprises canadiennes
Produits de consommation électroniques	• Coût réduit grâce à l'échelle de production, aux coûts de la main-d'œuvre et à la technologie de système • Conception et marque du produit	• Japon • Corée • Taïwan • États-Unis	• Mitsubishi (tubes cathodiques) • Global Sound Systems, Paradigm (haut-parleurs) • D'autres qui se concentrent sur l'assemblage de composantes étrangères
Semi-conducteurs et composantes	• Échelle de fabrication • Technologie • Intégration verticale	• Japon • États-Unis	• Mitel • Northern Telecom (captif) • Gennum • D'autres qui participent à certaines étapes du processus
Avionique	• Technologie • Économies d'échelle pour compenser les coûts de R-D	• États-Unis • Europe	• CAE (systèmes de contrôle, simulateurs) • Compagnie Marconi Canada
Lasers	• Échelle de fabrication et de distribution • Technologie	• Amérique du Nord • Japon	• Lumonics • Litton • Plusieurs firmes plus modestes
Autres	• Technologies • Échelle	• Divers	• Electrohome Ltée (vidéo numérique, systèmes de projection)

Source : Canada Consulting Cresap, *Sector overviews*, rapport préparé pour le Conseil des sciences du Canada, 1990 (inédit).

Perspectives commerciales

Les perspectives commerciales sont encourageantes. Comme le montre le tableau 14, quelques-unes des principales entreprises canadiennes prévoient que les ventes tripleront d'ici 1995. Cela représente une plus forte croissance que celle prévue sur le marché mondial des semi-conducteurs, qui devrait doubler au cours de la même période.

Tableau 14. Ventes prévues de composantes micro-électroniques de quelques grandes sociétés canadiennes, 1990 et 1995

Société	Ventes totales dans le domaine de la micro-électronique (en millions de dollars)		Pourcentage de ventes par contrat	Ventes au détails (en millions de dollars)	
	1990	1995		1990	1995
LSI	55	250	0	55	250
Mitel	75	200	25	56	150
Gennum	20	50	0	20	50
Newbridge	9	35	0	9	35
Northern Telecom	160	500	100	0	0
Total	319*	1 035	125	140	485

Source : *Report of the Canadian Microelectronics Action Committee*, 14 février 1991, p. 14.

* Ré-exportations exclues

En 1990, on évaluait à 40 p. 100 les ventes effectuées sur le marché du commerce de détail et à quelque 70 p. 100 les ventes à l'exportation. Si les mêmes rapports sont utilisés pour l'année 1995, 145 des 485 millions de dollars de ventes seraient attribuables au marché intérieur comparativement à 42 millions en 1990.

Bien que l'on puisse s'attendre à ce que les ventes au pays visent principalement le domaine des télécommunications, il peut également y avoir des ventes dans d'autres domaines de l'électronique, comme l'illustre le tableau 13.

Étant donné qu'une même puce contient de plus en plus de fonctions de divers systèmes informatiques, la compétitivité des fabricants sera de plus en plus fonction de la vitesse, de la compétence et de la souplesse avec laquelle ils utilisent les CIPA. Ces puces permettent d'éviter la concurrence avec les produits standardisés d'origine asiatique fabriqués en série. Les CIPA offrent la possibilité d'adapter les produits en fonction de créneaux particuliers[29].

Les entreprises canadiennes sont particulièrement bien placées dans le marché florissant des CIPA. Les firmes qui ont des marchés bien circonscrits et qui entretiennent des relations étroites avec leur clientèle devraient enregistrer des bénéfices élevés. Sur le marché mondial des CIPA, des sociétés canadiennes telles que Genesis Microchip Inc. et Gennum Corp. comptent parmi la minorité des entreprises généralement rentables. Les analystes du marché croient que l'environnement devient plus favorable à des sociétés plus dynamiques, en particulier celles qui travaillent en étroite collaboration avec leur clientèle aux stades de conception et d'ingénierie et celles qui sont suffisamment rentables pour tirer profit des commandes de moindre envergure. Un certain nombre d'entreprises canadiennes correspondent à ce profil[30].

Bien que certains fournisseurs canadiens de CIPA aient de bonnes chances de survivre et même de prospérer au cours de la prochaine décennie, la fabrication de CIPA jouera un rôle moins important dans l'avenir du secteur canadien de l'électronique. Les entreprises prospères seront

devenues capables d'utiliser les CIPA pour créer des produits micro-électroniques intégrés en sous-systèmes et en systèmes ayant des fonctionnalités bien définies.

L'industrie

L'industrie canadienne des semi-conducteurs, exception faite de Northern Telecom, est constituée d'un certain nombre de petites entreprises orientées principalement vers le marché des télécommunications. Les firmes principales et leurs ventes sont présentées au tableau 14.

Les caractéristiques les plus remarquables de l'industrie sont les suivantes :

- Northern Telecom, plus important fabricant de semi-conducteurs, produit des dispositifs pour satisfaire ses besoins internes exclusivement.
- Mitel, deuxième producteur en importance, utilise environ 25 p. 100 de sa production pour ses besoins internes.
- Les autres sociétés produisent des composantes qui servent surtout à des applications sur mesure.
- Cette industrie emploie plus de 3 000 personnes, dont le tiers environ travaille dans les domaines technique et scientifique.

Les utilisateurs canadiens de semi-conducteurs peuvent se procurer sur le marché mondial les composantes et les dispositifs les plus récents alors que les multinationales disposent de leur propre réseau d'approvisionnement interne et externe. En conséquence, les fournisseurs canadiens et les utilisateurs de semi-conducteurs n'entretiennent qu'un lien très faible. Plus de 80 p. 100 de la production canadienne est exportée.

Évolution de l'industrie

Si l'industrie canadienne des semi-conducteurs est concentrée dans la région d'Ottawa, c'est en raison d'une décision prise par Northern Electric (maintenant Northern Telecom) d'établir ses laboratoires de recherche (maintenant Recherches Bell-Northern Ltée) dans cette région. La présence du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) a influencé cette décision.

En outre, vers la fin des années 1960, le gouvernement fédéral a investi dans des entreprises conjointes avec Northern Electric en vue d'établir la Compagnie internationale des microsystèmes Ltée (CIM). Bien que la CIM ait échoué, elle a laissé un capital intellectuel considérable à Northern Telecom et aux personnes qui ont fondé des sociétés canadiennes, dont un grand nombre ont leur siège social dans la région d'Ottawa (*voir* figure 7).

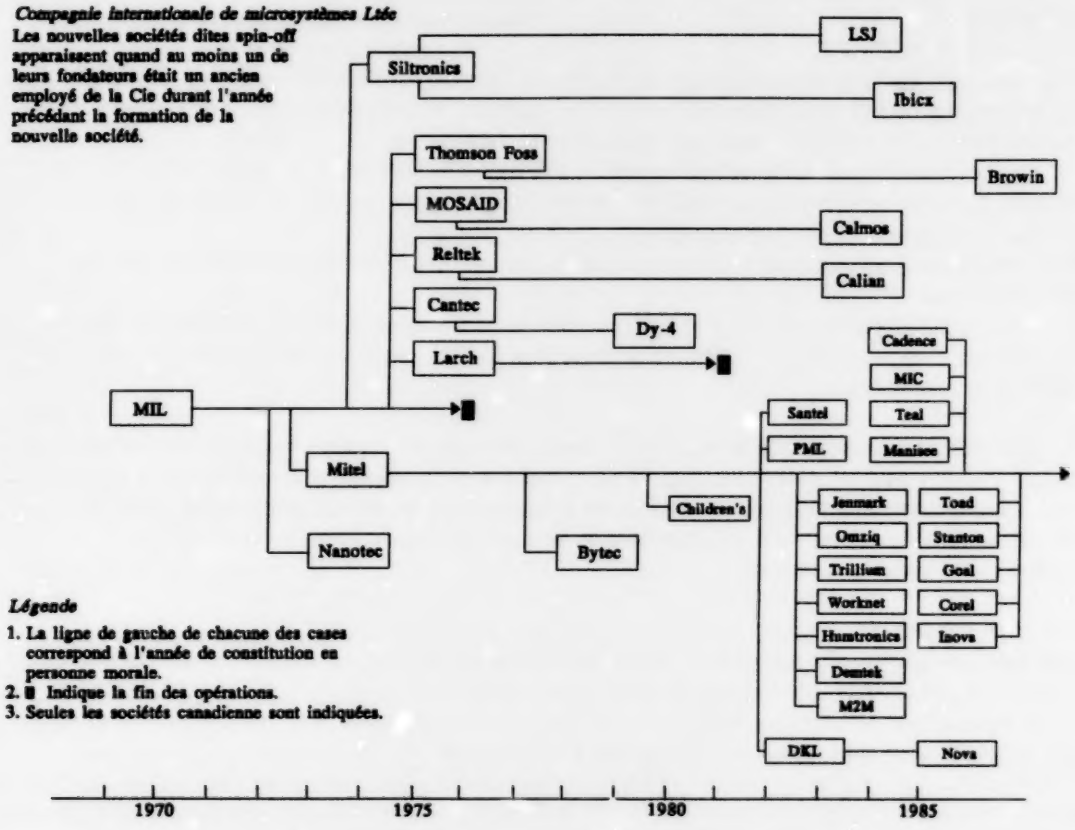
Avec le temps, le secteur privé — par exemple, Recherches Bell-Northern Ltée, Northern Telecom et des petites et moyennes entreprises (PME) — de même que des organismes gouvernementaux comme le CNRC et le Centre de recherches sur les communications se sont dotés d'une infrastructure technique perfectionnée et d'un personnel qualifié. Ces entreprises et organismes sont principalement orientés vers le secteur des télécommunications. Le Canada n'a pas produit de puce à mémoire depuis la faillite de la CIM.

Stratégies en matière de R-D et de technologie

R-D dans l'industrie

En raison de capacités financières limitées, les sociétés canadiennes de semi-conducteurs ont adopté des stratégies d'innovation plutôt que des stratégies de percée dans le cadre de leur R-D. Même Northern Telecom veut développer rapidement des produits commercialisables en innovant à partir de technologies qui ont fait leurs preuves. Cette stratégie lui a valu des succès dans le domaine des

Figure 7. Sociétés «spin-off» de la Compagnie internationale des microsystèmes Ltée



Source : NGL Consulting Ltd., *The semiconductor industry*, rapport préparé à contrat pour le Conseil des sciences du Canada, 1989 (inédit).

interrupteurs numérique et, plus récemment, dans celui des fibres optiques. Il convient toutefois de noter que cette stratégie rend Northern Telecom vulnérable aux percées majeures.

De plus petites firmes telles que Gennum doivent dépenser des montants relativement élevés en R-D (par exemple, 20 p. 100 des ventes) pour rester concurrentielles dans les créneaux choisis (*voir* tableau 15). Leur succès vient du fait qu'elles fabriquent des produits d'avant-garde en innovant et en utilisant des techniques bien établies[31], en vue de devenir des chefs de file dans leur marché ou dans leurs créneaux. Si les investissements en R-D peuvent ne pas être très élevés en valeur absolue, ils sont toutefois importants par rapport au chiffre d'affaires.

Table 15. Gennum Corporation

Gennum a choisi d'être un fournisseur mondial important dans chaque créneau choisi :

- Ses ventes de circuits intégrés se situent entre 15 et 20 millions de dollars annuellement.
- Elle détient 70 p. 100 du marché mondial des circuits intégrés pour les prothèses auditives.
- Elle exporte de 90 à 95 p. 100 de ses produits.

Ses efforts de R-D sont concentrés sur l'adaptation de technologies reconnues à des groupes de clients particuliers :

- En 1989, son budget de R-D était de plus de quatre millions de dollars.
- Quarante pour cent de cette somme a été allouée à la R-D sur les produits, et 60 p. 100 à la R-D sur les procédés.
- Elle a mis au point un circuit intégré utilisable dans les prothèses auditives qui est 100 fois plus petit que tous les circuits intégrés alors disponibles pour cette application.

Le développement de la technologie d'approvisionnement en mode résonnant représente un changement d'orientation dans la stratégie de l'entreprise :

- L'entreprise crée de nouveaux produits et de nouvelles techniques plutôt que de les adapter.
- Elle peut envisager de fabriquer l'ensemble du système, et pas seulement les circuits intégrés.

Source : Canada Consulting Cresap, *Sector overviews*, rapport préparé à contrat pour le Conseil des sciences du Canada, 1990 (inédit).

R-D de pointe grâce aux consortiums — Afin de se maintenir au niveau des chefs de file japonais et américains en matière de technologie, les entreprises canadiennes, bien qu'elles utilisent une technologie de deuxième génération, ont formé des consortiums de R-D pour mettre au point une technologie de pointe. En voici trois exemples :

- L'*Association canadienne de dessin semi-conducteur* (ACDS) est un consortium formé de quatre sociétés — Newbridge, Gennum, Mitel et MOSAID — qui vise à encourager la mise au point des technologies nécessaires à la fabrication et à la conception de circuits intégrés. La Société canadienne de micro-électronique (présentée ci-après) en est un membre associé. Le budget du programme de R-D de l'ACDS s'élève à 45,4 millions de dollars, dont la moitié provient du Fonds de la technologie de l'Ontario. Au cours des deux premières années du programme, plus de 100 projets ont été entrepris et plus de 40 produits ont été conçus ou réalisés.

- La *Société canadienne de micro-électronique* (SCM) a été créée en vue de favoriser la recherche en micro-électronique dans les universités canadiennes. La société offre des services à 28 universités et 12 entreprises industrielles dans le but de les aider à concevoir des circuits intégrés et à en faire l'essai. Depuis 1984, près de 1 700 dessins ont été produits et plus de 10 000 puces mises en boîtier ont été retournées à leurs concepteurs universitaires. C'est le service de puces sur mesure de Northern Telecom qui a fabriqué ces puces, ce qui constitue un bel exemple de coopération entre l'industrie et l'université. En 1990, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada a octroyé à la Société une subvention quinquennale de 24,6 millions de dollars.

- Le *Consortium canadien sur l'opto-électronique de l'état solide* (CCOES) est formé de l'Institut des sciences des microstructures du CNRC, de Recherches Bell-Northern, de Litton, de l'Alberta Telecommunications Research Centre, de Microtel Pacific Research et de Générale électrique du Canada. Il a été mis sur pied pour favoriser la recherche préconcurrentielle demandée par l'utilisateur sur l'intégration monolithique des dispositifs électroniques et photoniques. Les chercheurs de ce programme quinquennal de 40 millions de dollars utiliseront d'abord de l'arséniure de gallium, pour ensuite passer au phosphure d'indium.

- Le *Strategic Microelectronics Consortium*, formé à partir de l'ancien Canadian Microelectronics Action Committee. Ce consortium, qui compte 15 sociétés membres, a été formé dans le cadre de l'initiative stratégique en matière de micro-électronique proposée par le CMAC (*voir* ci-après).

R-D dans le secteur public

De nombreux groupes de recherche universitaire, instituts et laboratoires gouvernementaux appuient l'industrie canadienne. Parmi les principaux, mentionnons :

- *Micronet* — Micronet est un groupe de centres universitaires dirigé par l'Université de Toronto, qui examine la question de l'intégration à ultra-grande échelle des dispositifs micro-électroniques. Ce groupe a été créé en vertu du Programme de réseaux de centres d'excellence du gouvernement fédéral.

- *McMaster University Institute for Materials* — Ce centre de recherche se spécialise dans les dispositifs opto-électroniques et la supraconductivité à haute température.

- *Institut des sciences des microstructures du CNRC* — Cet institut est doté d'équipement remarquable (par exemple, un appareil à faisceau ionique) et constitue le point central du CCOES.

- *Centre de recherches sur les communications* — Il existe, à la Direction de la recherche sur les dispositifs et composants de communications, un programme de recherche sur les circuits intégrés monolithiques hyperfréquences, les circuits numériques à grande vitesse, l'opto-électronique, l'optique intégrée, les technologies d'émissions optiques et les nouveaux semi-conducteurs composés.

- *Institut national d'optique* — Financé par un programme quinquennal de 34 millions de dollars établi en vertu de l'*Entente auxiliaire Québec-Canada sur les sciences et la technologie*, cet organisme effectue de la recherche sur la conception et la fabrication de systèmes optiques, l'opto-électronique dans le visible et l'infrarouge, l'analyse des images et les systèmes de vision.

- *Alberta Telecommunications Research Centre* — Les réseaux et les systèmes, la photonique et les télécommunications constituent les domaines de recherche privilégiés de ce centre.

Accéder à la technologie mondiale

Le coût de fabrication des circuits intégrés augmente considérablement lorsque la taille de ces circuits passe à moins d'un micron. Les entreprises canadiennes ont donc tenté d'accéder à la micro-électronique de pointe à haute densité utilisée par des entreprises étrangères spécialisées (en particulier,

Tableau 16. Forces et faiblesses de la base technologique canadienne de l'industrie des semi-conducteurs

Technologie	Forces	Faiblesses
Techniques de fabrication		
Fabrication	• Optimisée pour répondre aux besoins immédiats du produit • Répond à une gamme de besoins technologiques • Utilise l'infrastructure américaine	• Retards par rapport aux normes technologiques internationales • Base technologique principale captive • Faible investissement dans la mise au point de technologies concurrentielles • Infrastructure intérieure fragile
Méthode	• Technologies variées • Efforts pour mettre au point une mise sous boîtier à haute densité	• Possibilités de commerce fondées sur les boîtiers standard disponibles • Peu d'efforts de développement • Moyens limités pour mettre sous boîtier les dispositifs à haute fréquence • Aucune possibilité de commerce pour la mise sous boîtier de dispositifs multitechnologiques
Conception	• Utilisation de systèmes industriels standard de conception assistée par ordinateur (CAO) • Bons projets universitaires de création de logiciels, bien définis • Bonne formation universitaire grâce à la Société canadienne de micro-électronique	• Activités de conception de logiciels fragmentées • Les universités ne produisent pas de CAO intégrée qui permettrait de concevoir des puces
Applications	• Liens étroits entre les ingénieurs technico-commerciaux et les ingénieurs en électronique dans les sociétés à intégration verticale • Produits de base de la majorité des sociétés mis au point à la suite de discussions avec les clients étrangers	• Liens peu étroits entre les entreprises canadiennes de micro-électronique et leurs clients canadiens • Faible base intérieure, en général, qui ne permet pas de lancer des campagnes sur les marchés internationaux • Les programmes d'élaboration de systèmes parrainés par le gouvernement profitent peu à l'industrie micro-électronique canadienne

Source : *Report of the Canadian Microelectronics Action Committee*, 14 février 1991.

les entreprises américaines pour le silicium fabriqué sur commande et les entreprises japonaises pour la technologie comportant une mémoire). Elles se déclarent satisfaites de l'accès actuel à ces technologies et ne croient pas qu'il soit menacé[32].

De fait, le gouvernement fédéral a mis en place un programme d'accès à la fonderie, qui englobe tous les coûts reliés à cette industrie. Financé par le ministère de la Défense nationale, ce programme est dirigé par le Centre de recherches sur les communications et vise à développer les compétences de l'industrie canadienne en matière de circuits intégrés monolithiques hyperfréquences. Les entreprises peuvent bénéficier des compétences techniques du Centre, mais doivent payer leur personnel et leurs dépenses directes. Les sociétés MPR, MEL, CAL, Spar, BelTronics, ComDev, Pelorus, Telesat, Lucas, UTL et TRL se sont prévalus de ce programme.

En termes plus généraux, Affaires extérieures et Commerce extérieur Canada administre le Programme d'apports technologiques (PAT), qui vise à aider les sociétés, les plus petites en particulier, à accéder à la technologie étrangère. Depuis 1986, plus de 1 000 projets ont été financés par le PAT, qui prévoit le partage des coûts.

Stratégies en matière de technologie

La stratégie canadienne de R-D, qui aide les entreprises à demeurer concurrentielles en matière de technologie, vise à créer de nouveaux produits à partir d'une technologie de deuxième génération et à suivre l'évolution des connaissances et des compétences d'avant-garde, s'il y a lieu, grâce à des ententes en R-D conclues entre des partenaires canadiens et étrangers. Le développement des semi-conducteurs au Canada est soutenu par des infrastructures gouvernementales et universitaires bien établies en matière de R-D.

Cette stratégie est celle d'un «petit pays» : elle requiert moins de capitaux que celle qui repose sur des moyens technologiques intérieurs étendus. De fait, la dissociation de la conception et de la fabrication ainsi que le passage à une conception à partir d'équipement bon marché accroissent la dépendance de cette stratégie envers une main-d'œuvre de plus en plus spécialisée. Il s'agit d'une excellente stratégie qui offre un plus grand nombre d'emplois spécialisés, dont la valeur ajoutée est supérieure à la valeur ajoutée moyenne de l'économie dans son ensemble.

Le Canadian Microelectronics Action Committee (CMAC), mis sur pied par l'industrie canadienne de la micro-électronique, a évalué les forces et les faiblesses de la base technologique canadienne de l'industrie des semi-conducteurs. Le tableau 16 nous en présente les grandes lignes.

Perspectives et stratégies de croissance du secteur canadien de l'électronique

Garantir l'accès à la technologie mondiale

L'une des principales inquiétudes du secteur canadien de l'électronique, c'est de réussir à maintenir une technologie concurrentielle. Pour y arriver, il faut bénéficier d'un accès ininterrompu à la technologie de système internationale et se tenir à la fine pointe de la technologie de conception (par exemple, des outils intelligents de CAO). Des représentants du gouvernement et de l'industrie soutiennent que le secteur canadien de l'électronique doit posséder les moyens de fabriquer des produits s'il veut demeurer concurrentiel, garantir un délai d'exécution rapide et réduire sa dépendance à l'égard des fonderies étrangères. Mais l'industrie, en général, pense que l'accès aux moyens de production mondiaux ne pose aucun problème et qu'il en coûterait trop cher de mettre sur pied une industrie de fabrication canadienne, sans oublier que la rentabilité n'en est pas assurée. Il est prévu que les fonderies connaîtront une période de réorganisation durant les années 1990. Il en subsistera cependant suffisamment pour assurer un marché concurrentiel.

Les entreprises qui possèdent leurs propres moyens de production, comme Gennum et Mitel, doivent constamment les améliorer et doutent de pouvoir survivre à la prochaine génération des moyens de fabrication. De plus, les fonderies sont spécialisées et les entreprises canadiennes doivent conclure des ententes avec les meilleures fonderies du monde dans leur spécialité. Seules les grandes entreprises à revenus élevés peuvent se permettre d'investir dans les installations de fabrication et répondre ainsi à leurs besoins particuliers.

S'il est facile pour les entreprises d'avoir accès aux moyens de fabrication mondiaux, il leur est toutefois indispensable de se tenir à la fine pointe de la conception. L'investissement nécessaire à cette fin est relativement modeste, et les entreprises peuvent donc s'engager dans les activités de conception. En outre, les programmes de formation offerts aux entreprises, notamment ceux parrainés par la SCM, sont à la portée de leur bourse. Il faut toutefois souligner que la conception exigera de plus en plus une connaissance approfondie du produit final (système ou sous-système), de ses éléments et de ses applications.

La conception et la fabrication sont intimement liées, et il est important de le reconnaître. Il semble aléatoire que des entreprises de conception de circuits intégrés puissent prospérer sans posséder des moyens de fabrication ou d'application. De telles entreprises présenteraient de nombreuses lacunes, dont l'incapacité de créer les liens nécessaires entre la fabrication, la conception et la R-D[33]. Il est difficile de concevoir comment une entreprise qui ne produit ni n'utilise de puces dans un domaine particulier d'application puisse intégrer ces importantes activités.

En faveur d'une approche privilégiant les systèmes intégrés

Dans les sections précédentes, nous avons établi la distinction entre la fabrication de composantes micro-électroniques (semi-conducteurs) en tant qu'objectif final et les activités qui exploitent la micro-électronique dans le but de créer un produit ou un processus d'un système.

La fabrication par rapport à la conception et à l'application

Il existe déjà, dans le monde entier, une importante industrie de fabrication de composantes micro-électroniques en pleine maturité. Elle exige d'énormes capitaux et des économies d'échelle considérables. Ainsi, il en coûterait près d'un demi-milliard de dollars pour établir une installation de production concurrentielle de semi-conducteurs à oxyde de métal complémentaires bimétalliques (BiCMOS) et 70 millions de dollars environ pour produire une ligne de CMOS ordinaires de deux microns. Même avec un capital assuré, les coûts reliés au maintien de la R-D et le réinvestissement nécessaire pour soutenir la concurrence demeureraient très élevés.

Par contre, l'application et l'intégration de la micro-électronique à des systèmes ou à des sous-systèmes fonctionnels présentent beaucoup moins de difficultés et offrent des possibilités de revenus supérieures. Les avantages de la conception et de l'exploitation de la micro-électronique sont nombreux. Mentionnons entre autres :

- des coûts de démarrage et d'exploitation moins élevés;
- des lignes de produits qui peuvent s'adapter aux forces régionales et même, les accroître;
- des produits qui sont le résultat d'une activité à forte valeur ajoutée.

Même si l'éloignement géographique du client peut parfois entraîner un certain désavantage, la valeur ajoutée par la phase de conception d'un produit micro-électronique est facilement 10 fois supérieure à la valeur ajoutée par sa simple fabrication[34].

Application de la micro-électronique aux systèmes fonctionnels

Contrairement à la conception de produits de base et de circuits intégrés propres à une application (CIPA), cette approche vise à intégrer la micro-électronique à un système ou à un sous-système qui remplit une fonction que l'utilisateur peut percevoir. La fabrication de contrôleurs destinés à une application industrielle, de périphériques pour micro-ordinateurs ou claviers de micro-ordinateurs et de détecteurs destinés au contrôle de la qualité d'une chaîne de fabrication en sont des exemples. L'application de la micro-électronique aux systèmes fonctionnels est une technique produisant des fonctions plus intelligentes et simplifiant la production et l'entretien des produits.

La clé de la croissance extraordinaire de la société ATI Technologies Inc. dans le domaine des composantes de micro-ordinateurs réside en partie dans le fait que l'entreprise a su intégrer des fonctions identifiables dans ses sous-systèmes. Fondée en 1985 à Scarborough, en Ontario, ATI Technologies Inc. a augmenté considérablement sa part du marché et est maintenant le deuxième plus grand fabricant au monde de consoles graphiques[35]. Les lettres «AT» contenues dans le nom de la société signifient *array technologies*, soit la technologie de réseaux, ce qui est pertinent puisque l'entreprise exploitait déjà la technologie à réseaux prédiffusés pour les semi-conducteurs utilisés dans ses premiers claviers. Les ingénieurs de l'entreprise exploitaient les possibilités offertes par les circuits prédiffusés pour augmenter considérablement les fonctions des cartes de circuits imprimés et mettre au point un clavier vidéo utilisable avec tout logiciel et tout moniteur. Un tel produit si pratique fut rapidement adopté par les consommateurs et souleva l'enthousiasme des commerçants.

L'entreprise effectue elle-même une grande partie de sa recherche (elle consacre un minimum de 3 p. 100 de ses revenus à la R-D) et utilise les CIPA sur mesure dans un grand nombre de ses produits, notamment dans ses populaires cartes graphiques VGA Wonder 256K et 512K ainsi que dans ses modems de 2 400 et de 9 600 bits par seconde (bps)[36]. Elle continue de privilégier la fabrication de systèmes et de sous-systèmes concurrentiels uniques sur le plan fonctionnel. Selon K.Y. Ho, président de ATI, la concurrence sur le marché des cartes graphiques et des cartes de communication est si forte qu'une entreprise doit offrir des produits uniques. Elle ne peut se contenter de fabriquer des produits d'imitation, car dans ce cas, la concurrence se fait uniquement au niveau des prix. ATI Technologies aime donc mettre au point ses propres CIPA et y intégrer un plus grand nombre de fonctions. Aucun autre fabricant ou concurrent ne possède de produits semblables, ce qui permet à

l'entreprise de conserver une position unique[37]. ATI Technologies travaille actuellement à la mise au point de nombreux produits — très simples ou très complexes — destinés au marché des multimédias qui, selon Bill Gates de Microsoft et d'autres chefs de file de l'industrie, devrait être le prochain créneau en informatique[38].

Les entreprises qui adaptent la stratégie de l'application aux systèmes fonctionnels bénéficient de deux avantages : la connaissance du produit et la conception d'un système intégré à ce produit — qui doit, bien sûr, être entretenu et protégé. Plusieurs applications possibles constituent des créneaux viables : instruments et contrôle industriel, télécommunications, électronique dans le domaine sanitaire et médical, industries du transport et de l'automobile, prospection et exploitation des ressources et contrôle industriel, pâtes et papiers, systèmes militaires et secteurs pétrolier et gazier.

Créneaux commerciaux

Circuits intégrés propres à une application

Les circuits intégrés propres à une application (CIPA) offrent de nouveaux créneaux aux petits secteurs de l'électronique et aux économies nationales dans le domaine de la micro-électronique. Ils constituent une porte d'entrée pour les concepteurs et les utilisateurs de puces, et exigent plus de compétences que de capitaux. Selon Mike Hobday, de la Science Policy Research Unit de l'Université du Sussex, réussir dans des créneaux ciblés pourrait procurer des avantages concurrentiels pour les spécialistes de la conception des semi-conducteurs et des systèmes informatiques. Le fait de dépendre de l'importation de puces électroniques perfectionnées ne constitue pas un si grand obstacle lorsque les ambitions de percer sur le marché international sont limitées[39]. L'utilisation accrue des CIPA dans l'économie canadienne dépend en grande partie de ce que ces circuits peuvent apporter au reste du secteur. Des percées importantes dans ce domaine pourraient déboucher sur la création d'un plus grand nombre de petites entreprises de micro-électronique mettant au point des systèmes informatiques à applications spécifiques.

Même si les CIPA connaissent une croissance extraordinaire et sont considérés comme *le* marché de l'avenir, certains observateurs émettent des réserves quant à leur applicabilité (en particulier, dans le contexte canadien) et à leur rentabilité à long terme[40]. De par leur nature même, les CIPA sont propres à une application. Il est très difficile de les vendre à un marché vaste puisque l'application qu'on peut en faire est relativement restreinte. Une entreprise ne peut donc protéger qu'un créneau fort limité et spécialisé. Les sociétés canadiennes comme LSI Logic Canada et un certain nombre de sociétés étrangères ont réussi en tant que fournisseurs de CIPA grâce à leurs compétences et à leurs capacités. Mais en raison du manque de preuves et de raisons solides, nous ne pouvons recommander qu'un grand nombre d'entreprises canadiennes de micro-électronique se lance dans ce marché. Au contraire, il semble évident que l'industrie des CIPA, en tant que secteur distinct de l'industrie mondiale des semi-conducteurs, n'existe plus. Les fournisseurs les plus prospères dans ce domaine sont de grosses entreprises de semi-conducteurs ou des entreprises diversifiées de produits électroniques. Un grand nombre de sociétés qui avaient commencé comme fournisseurs de CIPA se sont lancées dans des produits courants[41].

Dans ces conditions, il faudrait considérer les CIPA comme un moyen d'atteindre une fin. Les entreprises qui peuvent les utiliser en tant que technique dans la mise en œuvre de systèmes hautement fonctionnels ont plus de chances de survivre et de prospérer à l'avenir.

Télécommunications

Les liens entre les fournisseurs canadiens de semi-conducteurs et les utilisateurs canadiens sont actuellement très faibles. Le marché canadien des télécommunications constitue toutefois un créneau intérieur important, comportant des forces certaines.

Le CMAC a proposé l'adoption d'une initiative stratégique en matière de micro-électronique, afin d'être en mesure de répondre d'ici 1996 à la moitié des besoins ne visant pas l'occupation de mémoire des fournisseurs canadiens de matériel de télécommunication[42]. Cet objectif s'appuie sur le but fixé par le Canadian Telecommunications Action Committee (CTAC) — faire passer les expéditions de 4,7 milliards de dollars en 1988 à 11 milliards de dollars en 1995. Il faut noter toutefois que l'objectif de la stratégie s'appuie sur le taux de croissance internationale historique de 10,4 p. 100 enregistré par l'industrie canadienne de matériel de télécommunication et non sur l'objectif proposé par le CTAC, soit un taux augmentant 25 p. 100 plus vite que le marché mondial. Étant donné que le taux de croissance de l'industrie s'élevait à 5,9 p. 100 à peine, le taux de 10,4 p. 100 visé par la stratégie constitue un défi.

Si le taux de 5,9 p. 100 se maintenait, la valeur des expéditions de matériel de télécommunication serait de 10,9 milliards de dollars en 1996. Si le contenu en semi-conducteurs s'élève à 13,8 p. 100, la demande serait alors de l'ordre de 1,5 milliard de dollars en 1996. Si des entreprises autres que Northern Telecom sont à l'origine de 40 p. 100 des achats, celles-ci pourraient, en 1996, acheter des circuits intégrés d'une valeur de 600 millions de dollars, dont 332 millions viseraient les circuits intégrés ne comportant pas de mémoire. En 1996, il faudrait donc vendre à des entreprises canadiennes de télécommunication des produits d'une valeur de 166 millions de dollars pour atteindre l'objectif de la stratégie. Si les ventes mondiales continuent à représenter 30 p. 100 des ventes totales, le chiffre d'affaires de l'industrie s'élèverait à 553 millions de dollars, somme quatre fois supérieure à celui de 1989.

Systèmes industriels

Les systèmes de commande numérique constituent un deuxième créneau important. Au Canada, on devrait probablement orienter ces systèmes vers les secteurs d'exploitation des ressources comme ceux de la forêt et des produits forestiers, de l'exploration et de l'extraction du pétrole et du gaz, et des mines. Les détecteurs, le traitement de l'information et la classification continue des matériaux en temps réel offrent également des possibilités.

Systèmes automobiles

Le secteur de l'automobile modifie radicalement sa façon d'utiliser l'électronique. Les systèmes d'allumage électronique ont déjà évolué et permettent de maximiser l'économie d'essence tout en respectant les normes d'émission. Parmi les autres domaines qui voient actuellement le jour, citons les mécanismes de contrôle de traction électroniques, les suspensions actives contrôlées électroniquement et la surveillance de systèmes.

Systèmes militaires et systèmes de défense

Les marchés militaires sont un créneau important pour les entreprises canadiennes de semi-conducteurs capables d'investir dans la mise au point de systèmes — pour autant qu'elles possèdent quelques compétences. Les interventions armées dans le cadre de la guerre du golfe Persique illustrent bien le rôle capital que joue l'informatique dans les guerres modernes. L'électronique a modifié la face de la guerre, de la livraison du matériel à l'emplacement des pièces d'artillerie. Même si la détente Est-Ouest a poussé certains observateurs à prédire une diminution des commandes militaires par les nations occidentales, les perspectives de désarmement s'annoncent aussi lucratives que les perspectives de guerre. La question du contrôle de l'armement amène les gouvernements à se pencher sur des

systèmes qui permettraient de vérifier le respect d'une telle politique. Il faudra posséder des systèmes stationnés dans l'espace et des détecteurs télécommandés, et effectuer des surveillances aériennes pour mettre en œuvre les accords sur la réduction des forces conventionnelles en Europe, l'interdiction des essais nucléaires et la politique du «ciel ouvert»[43]. Bien qu'elles soient particulièrement bien placées pour répondre à ces nouvelles demandes, les entreprises canadiennes aérospatiales et celles de télédétection devront mettre au point divers systèmes et sous-systèmes faisant appel aux CIPA.

Dans un secteur où l'on prévoit une diminution des ventes globales, la surveillance technologique de pointe et les systèmes de renseignements connaîtront une croissance certaine. Les ventes d'autres segments du marché militaire devraient également connaître une hausse. Le marché de la guerre électronique prendra une expansion considérable en dépit de la méfiance manifestée envers la fiabilité et la rentabilité du matériel de guerre électronique. La demande de circuits intégrés à très grande échelle, en particulier, est forte, et l'application de nouveaux matériaux semi-conducteurs amènera dans son sillage de nouvelles commandes de circuits intégrés fabriqués sur demande et de systèmes groupés.

Dans un rapport qui n'a pas encore été publié, le U.S. House Armed Services Committee souligne que l'absence de systèmes destinés à appuyer les combats aériens sur le terrain a fortement limité la capacité des États-Unis d'utiliser leur puissance de combat. Les États-Unis ne pouvaient utiliser qu'un quart de leurs dispositifs de combat aériens à la fois parce qu'ils avaient besoin de tout leur matériel de guerre électronique pour soutenir cet effort limité[44].

Plusieurs fabricants canadiens de systèmes de défense ont déjà décroché des contrats du Pentagone par le passé. Ces entreprises craignent toutefois que les manufacturiers américains accordent moins de sous-contrats aux entreprises canadiennes à la suite des compressions des dépenses militaires américaines. Les entreprises de semi-conducteurs, attirées par les profits liés à la mise au point de systèmes destinés à la vaste machine militaire américaine, doivent surmonter deux obstacles de taille : un secteur bureaucratique relativement fermé et l'obtention d'un financement à long terme. De plus, les entreprises qui décident de se placer sous la coupe protectrice de l'économie militaire ne peuvent s'en contenter une fois qu'elles ont obtenu des contrats. L'importance stratégique de l'industrie des semi-conducteurs et de celle de la défense et, en réalité, leur interdépendance, rendent souhaitable une certaine forme de coopération des industries nord-américaines de semi-conducteurs.

Dans son *Critical Technologies Plan*, le département américain de la Défense a reconnu dernièrement les forces particulières du Canada en matière de CAO et de matériel de recherche de base dans les domaines des semi-conducteurs et de la micro-électronique[45]. Le rapport souligne également les nombreux échanges qui se font dans le secteur de la recherche sur les semi-conducteurs entre les États-Unis et les autres pays du «monde libre».

On pourrait penser, à première vue, que la position privilégiée des entreprises canadiennes leur permet de tirer avantage de leur réputation et de continuer à obtenir des contrats de l'armée américaine. Cependant, un grand nombre de barrières limite encore l'accès aux marchés de défense américains, même si les accords sur la partage de la production de défense conclus entre les États-Unis et le Canada ont permis au secteur canadien de l'électronique d'exporter vers les États-Unis et si l'infrastructure nord-américaine de l'industrie de défense a favorisé la coopération entre les deux pays. Ainsi, on estime qu'au moins le tiers des contrats de défense américains ne peuvent être octroyés à des entrepreneurs principaux étrangers dans l'intérêt de la nation. Les entreprises étrangères sont également désavantagées par les crédits et les autorisations du Congrès et les programmes «Buy American» et «Small Business Set Asides»[46].

Si l'on considère la reconnaissance, par le Congrès, de l'importance des semi-conducteurs pour la prospérité de l'économie américaine et la défense de la nation[47], il est ironique de constater que les entreprises canadiennes de micro-électronique, qui constituent pourtant une source fiable de compétences technologiques reconnues, ont été mises de côté. Pourtant, ces entreprises pourraient

soutenir les firmes américaines dans certains domaines particuliers comme la conception, et aider à retarder l'exportation de la production et de la technologie des semi-conducteurs.

De plus, les entreprises canadiennes d'électronique pourraient intervenir davantage dans la livraison de systèmes et de sous-systèmes de défense américains. À mesure que les entreprises de semi-conducteurs accélèrent la mise au point de systèmes à utilisation finale, celles qui possèdent des compétences manifestes et qui développent des applications de ces systèmes, comme les entreprises de communications, sont en excellente position. Mais il n'est toutefois pas surprenant de constater que les entreprises canadiennes hésitent malgré tout à investir dans la conception, la fabrication et l'intégration des semi-conducteurs à des fins d'application militaire, étant donné la réticence des Américains à adopter des pratiques de soumission équitables pour les contrats de défense.

Les gouvernements canadien et américain ne peuvent se permettre de méconnaître une relation qui pourrait leur profiter mutuellement sur les plans stratégiques, économique et militaire. Un effort conjoint de l'industrie des semi-conducteurs des deux pays, en vertu des programmes de défense nord-américains, pourrait assurer aux entreprises canadiennes l'accès aux contrats militaires et aux contrats portant sur les composantes de pointe tout en garantissant aux Américains un accès privilégié aux compétences et aux marchés canadiens. Les fournisseurs et les utilisateurs de systèmes de défense basés sur la micro-électronique pourraient tirer profit d'un réengagement des deux pays envers une industrie continentale et de la signature d'accords de défense.

Autres

Des créneaux existent également dans d'autres domaines de l'électronique et dans des secteurs qui font appel aux semi-conducteurs et à l'électronique, comme l'industrie de l'informatique (notamment celle des éléments haut de gamme tels les circuits graphiques à résolution élevée). Dans un grand nombre de secteurs, toutefois, les créneaux sont limités, le Canada n'en maîtrisant pas la technologie.

Financement — le capital de risque

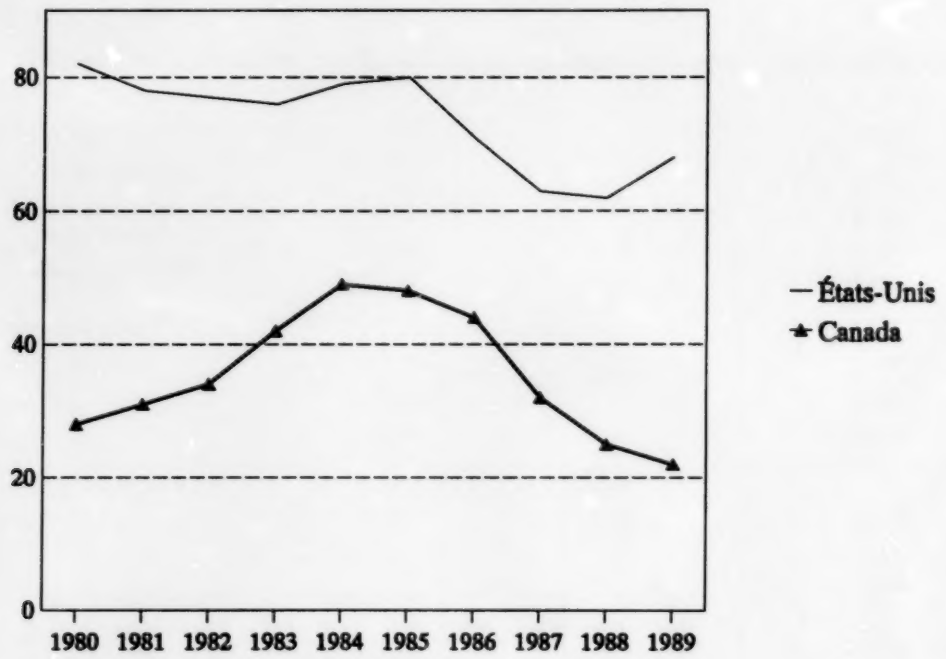
Le financement des projets technologiques risqués pose un sérieux problème au pays. Le capital de risque constitue une source importante de financement pour les nouvelles entreprises à forte concentration technologique comme celles de l'électronique et de la micro-électronique. L'expérience américaine démontre nettement que l'industrie des capitaux de risque a grandement facilité le démarrage d'entreprises comme Apple, Sun Microsystems, Lotus, Compaq et Digital, qui sont aujourd'hui concurrentielles sur le marché mondial.

Au Canada, l'industrie des capitaux de risque n'a pas atteint des proportions aussi considérables que celle des États-Unis et ne peut donc jouer un rôle comparable. Cette différence s'explique par les compétences relativement limitées des investisseurs canadiens en capital de risque, par l'intérêt limité des investisseurs et par le manque de compétences et d'expérience des entrepreneurs que ces investisseurs appuient[48]. À cause de ces lacunes, le secteur privé a cessé d'investir du capital de risque dans le secteur de la technologie à la fin des années 1980, après s'y être engagé avec enthousiasme (*voir* figure 8). Il faut toutefois noter que le secteur privé canadien investit beaucoup moins dans la technologie que son homologue américain.

Devant le retrait du secteur privé, des groupes d'innovation du secteur public, comme AQVIR et Innovation Ontario, ont augmenté leur participation à ce genre d'investissements, en particulier au moment du démarrage d'un projet (*voir* figure 9). Au Canada, les sociétés financières privées d'innovation ne prennent pas le risque d'investir dans le démarrage d'entreprises technologiques parce qu'elles ne jugent pas la rentabilité suffisante!

Le capital peut provenir de trois autres sources : investisseurs informels, sociétés de corporation et marché boursier. Toutefois, comme au Canada peu d'entreprises technologiques sont prospères, le nombre d'investisseurs informels est peu élevé. Pour leur part, les sociétés canadiennes, contrairement à leurs consœurs américaines, européennes et japonaises, sont moins tentées par le partenariat avec les petites entreprises. Quant au marché boursier, il s'est retiré des nouveaux enjeux technoiogiques partout dans le monde et en particulier au Canada, où le rendement des actions du secteur technologique a été nettement inférieur à celui du marché en général (*voir* tableau 17). Le capital de risque demeure donc une source importante de financement pour les entreprises canadiennes de technologie.

Figure 8. Tendances des investissements dans la technologie au Canada et aux États-Unis



Source : Venture Economics Canada Limited.

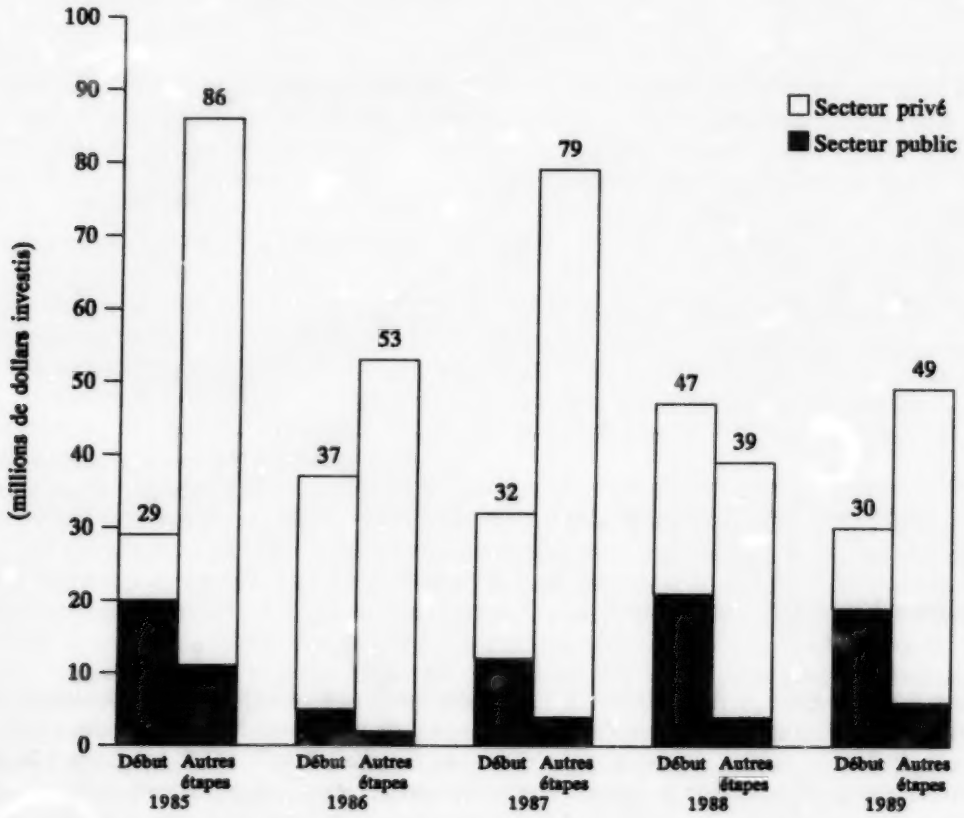
Toutefois, le capital de risque mis à la disposition des entreprises du secteur technologique est beaucoup moindre au Canada qu'ailleurs. En 1989, le capital de risque mis à la disposition d'une entreprise canadienne du secteur technologique s'élevait en moyenne à 657 000 $, soit 65 p. 100 de la contribution française, 52 p. 100 de la contribution britannique et 30 p. 100 seulement de la contribution américaine. De fait, le capital global mis à la disposition des entreprises technologiques canadiennes a diminué au cours des dernières années, ce qui a entraîné, entre autres, moins de créations d'entreprises, plus de faillites et un plus grand nombre de rachats par des entreprises étrangères.

Cette situation s'explique par un taux de rendement décevant. Il est toutefois plus difficile d'expliquer ce faible rendement. Selon Venture Economics Canada Limited, l'absence de gens d'expérience et de modèles de réussite constituerait l'obstacle structurel majeur à un rendement plus élevé. Le capital de risque canadien a besoin de ces deux facteurs pour appuyer la création d'entreprises de technologie[49]. Venture propose la stratégie des trois «R» afin d'établir l'infrastructure qui appuiera ces entreprises :

- *Retenir* les gestionnaires les plus expérimentés et les sociétés les plus influentes;
- *Recruter* des gestionnaires-entrepreneurs expérimentés et des partenaires industriels stratégiques;
- *Rapatrier* les Canadiens qui sont partis.

Afin de soutenir cette stratégie, Venture formule des recommandations précises sur le genre d'encouragements financiers et de programmes gouvernementaux à mettre en œuvre pour assurer un financement plus grand des entreprises de technologie à risque (*voir Creating threshold technology companies in Canada: The role for venture capital*)[50].

Figure 9. Financement des entreprises technologiques par les secteurs public et privé



Source : Venture Economics Canada Limited.

Tableau 17. Performance des entreprises de technologie de pointe inscrites à la Bourse de Toronto entre 1983 et 1990

Actions sélectionnées	1983 haut ($)	Nov. 1990 ($)	% variations des cours
Compagnie Marconi Canada	28 250	9 500	-66
Computer Innovations Distrib.	11 375	3 400*	-70
Comterm Inc.	13 625	0 330	-97
Develcon Electronics	26 250	0 500	-98
G&B Automated Equipment Ltd.	16 000	—†	-100
Gandalf Technologies Inc.	22 000	2 700	-87
Geac Computer Corporation	27 500	1 050	-96
Glenayre Electronics Ltd.	14 375	3 900	-72
Les technologies Lanpar	7 625	—†	-100
Linear Technology Inc.	11 875	5 000	-57
Leigh Instruments Ltd.	6 625	6 750‡	1
Lumonics Inc.	17 500	7 750§	-55
Mitel Corporation	38 000	1 430	-96
Nabu Network (MFC)	11 375	—†	-100
Northern Telecom	30 310	30 000	-1
Siltronics Inc.	4 200	—†	-100
Spar Aerospace	27 880	10 500	-62
SHL Systemhouse Ltd.	19 750	4 750	-75
Orcatech	9 250	—†	-100
Valeur globale des variations	346 575	92 560	-73
Variation moyenne			-67
Indice-Technologie de pointe	1 258 770	721 960	-42
TSE 300	2 361 080	3 151 010	33
Indice de rendement total	155 870	243 840	56

Source : Venture Economics Canada Limited.

* Acquises par Systemhouse à 3 400 $ en 1987
† Actions radiées
‡ Acquises par Plessy à 6 750 $ en 1987
§ Acquises par Sumitomo à 7 750 $ en 1989

Nouvelle technologie et stratégies de R-D pour le secteur canadien de l'électronique

Étude de cas : la Corée du Sud, un exemple invraisemblable pour l'industrie canadienne

À première vue, l'expérience acquise par les entreprises de semi-conducteurs sud-coréennes semble être peu utile aux entreprises canadiennes. Bien que les entreprises coréennes se soient initialement arrogé une part du marché grâce à la production massive de puces à mémoire à accès direct et à une main-d'œuvre déjà formée et bon marché, il n'en demeure pas moins que leur évolution vers un marché plus complexe et plus rémunérateur offre des points de vue intéressants pour l'industrie canadienne des semi-conducteurs. Une récente étude de la stratégie concurrentielle des entreprises coréennes en ce domaine a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Toute nouvelle entreprise qui se hasarde dans la technologie de pointe est plus ou moins désavantagée sur le plan de la technologie et du capital, face à ses concurrents. Toutefois, une entreprise qui choisit un domaine d'activités adapté à ses compétences technologiques et qui concentre ses ressources et ses moyens dans ce domaine peut rester concurrentielle (c'est ce qu'on appelle la stratégie des «petits pas»).

- Les entreprises qui ont de l'expérience en électronique semblent mieux réussir dans l'industrie des semi-conducteurs que les autres.

- Les entreprises qui collaborent entre elles au niveau de la R-D semblent améliorer leur position concurrentielle[51].

Il est important de souligner ce dernier point, car les sociétés qui œuvrent dans le même domaine semblent trouver difficile de collaborer en matière de recherche. Pourtant, grâce à la coordination gouvernementale, les entreprises coréennes de semi-conducteurs ont réussi à collaborer étroitement dans le domaine de la R-D. La Corée du Sud a l'intention de se doter des moyens de concevoir et de fabriquer des produits sur mesure et personnalisables et de bénéficier ainsi rapidement d'un avantage concurrentiel de taille sur le marché mondial.

Bonne capacité concurrentielle grâce à la coopération

L'industrie micro-électronique canadienne examine également les stratégies qui lui permettraient de survivre et de prospérer. Dick Foss, de la société MOSAID, a défini les caractéristiques essentielles au succès des sociétés de semi-conducteurs durant les années 1990 (*voir* tableau 18). De son côté, l'industrie propose collectivement des moyens d'obtenir et de renforcer ces caractéristiques.

Ainsi, dans le cadre de son initiative stratégique en matière de micro-électronique, le CMAC se penchera sur les questions relatives à une plus grande infiltration du marché intérieur des télécommunications et à l'accroissement de la synergie entre les entreprises pour garantir leur succès. De façon plus précise, l'initiative :

- fera appel aux principaux fabricants de matériel de télécommunication pour connaître leurs besoins en micro-électronique jusqu'en 1996;

- fera connaître ces besoins à toutes les entreprises participantes;
- établira des relations de travail qui favoriseront l'intégration verticale dans toute l'industrie des télécommunications et non seulement entre les principales entreprises, comme c'est actuellement le cas (pour y arriver, on pourrait notamment assortir le Programme fédéral de la micro-électronique et du développement des systèmes de primes spéciales pour récompenser les petites et les grandes entreprises qui accomplissent cette intégration);
- proposera la restructuration du volet «systèmes» du programme susmentionné afin que ce programme encourage l'accroissement du contenu canadien dans les projets d'intégration de systèmes, en particulier des systèmes des télécommunications;
- aidera les entreprises participantes à concevoir les plans technologiques, les plans de production et les plans de mise en marché pour répondre à leurs besoins[32].

Table 18. Caractéristiques des sociétés de semi-conducteurs prospères durant les années 1990

Pour réussir durant les années 1990, une société de semi-conducteurs :

- possède des compétences spécialisées reliées à un secteur précis du marché ou à des secteurs apparentés;
- agit dans ce secteur à l'échelle mondiale;
- peut établir un lien entre la conception de puces et de systèmes;
- utilise des logiciels ultramodernes;
- maîtrise l'application des systèmes, la conception, l'ingénierie de produits et l'ingénierie des essais de ses produits;
- entretient des relations avec une ou plusieurs entreprises de production dont la technologie convient à ses produits;
- entretient des relations avec des chefs de file de la technologie pour connaître l'orientation technologique;
- protège jalousement sa propriété intellectuelle;
- possède, si c'est possible, un laboratoire de R-D en technologie — s'il s'agit d'une grande entreprise.

Source : Dick Foss, MOSAID.

Comme nous l'avons déjà souligné, la signature, par les entreprises canadiennes et américaines de semi-conducteurs, d'accords de participation portant sur les approvisionnements et la conception auxquels les gouvernements des deux pays donneraient leur appui, permettrait de fournir à même le continent les compétences et la technologie militaires nécessaires. Actuellement, les avantages d'une telle coopération se limitent au secteur de la défense. Pourtant, le domaine de la recherche fondamentale et appliquée pourrait profiter d'une collaboration entre différents organismes gouvernementaux, universités et industries. De plus en plus, les entreprises de fabrication de puces et les gouvernements du Canada et des États-Unis devraient se déclarer favorables à la signature d'accords en matière de conception et d'approvisionnement, étant donné l'importance stratégique de l'industrie des semi-conducteurs dans l'économie et le recul du secteur américain de l'électronique sur les marchés mondiaux.

De récentes annonces témoignent de l'appel à la coopération et de la reconnaissance accrue, quoique tardive, du bien-fondé de la collaboration. Ainsi, la société Techware Systems Corporation de Richmond, en Colombie-Britannique, est devenue le premier membre étranger affilié de la Semiconductor Research Corporation (SRC) des États-Unis. Le consortium de R-D de la SRC, formé en 1982, est le fruit d'un effort conjoint d'entreprises et d'organismes gouvernementaux américains. Son objectif est d'améliorer la compétitivité de l'industrie américaine des semi-conducteurs en matière de recherche technologique. Grâce à un lobbying soutenu s'appuyant sur sa compétence manifeste dans la production automatisée de semi-conducteurs, Techware a réussi à modifier considérablement la politique très restrictive de la SRC au sujet de la participation étrangère[53]. Puisque les sociétés canadiennes peuvent maintenant devenir membres de consortiums américains, des entreprises uniques comme Process Technology Ltd. d'Oromocto, au Nouveau-Brunswick, fabricant de matériel de production de micro-puces, se montrent intéressées à joindre le consortium[54]. Northern Telecom, qui a déjà participé à de nombreuses activités de la SRC, négocie actuellement son adhésion au consortium[55]. Le gouvernement fédéral a lui aussi reconnu les possibilités extraordinaires qu'offre la participation canadienne à la SRC. Au cours d'un récent séminaire organisé par Industrie, Sciences et Technologie Canada, les participants, de concert avec les représentants de la SRC, ont passé en revue les programmes de recherche universitaire de l'organisation, évalué les avantages possibles des transferts technologiques pour le Canada et examiné la participation canadienne au programme de la SRC[56].

Malgré au moins une tentative fructueuse d'affiliation à la SRC, les entreprises canadiennes doivent encore obtenir le privilège de devenir membres de Sematech, le consortium de recherche des principales entreprises américaines de semi-conducteurs. Celles-ci sont compétentes en technologie de base, mais elles ont souvent des difficultés à appliquer ces technologies à la fabrication[57]. Les gouvernements américain et canadien ainsi que Sematech n'ont pas manifesté d'intérêt à l'égard d'une collaboration plus étroite dans les domaines de la recherche, de la conception et de la fabrication des semi-conducteurs malgré les avantages certains qu'une telle collaboration leur procurerait. Encore une fois, il serait grandement souhaitable, des points de vue commercial, économique et militaire, que les deux gouvernements réaffirment leur engagement envers les accords nord-américains de l'industrie de la défense, qui portent sur la fabrication des semi-conducteurs et leur approvisionnement. Ces accords pourraient ouvrir au Canada les portes du consortium Sematech. Pour réussir, il faudra cependant apaiser les craintes du Congrès, faire preuve de volonté politique et calmer les inquiétudes des industries de pointe et des responsables de la politique gouvernementale concernant l'exode de la technologie américaine suite à la conclusion d'alliances internationales[58]. Enfin, il faut diminuer les frais d'adhésion à Sematech, qui s'élèvent actuellement à deux millions de dollars américains, afin d'y favoriser la participation des petites entreprises canadiennes et américaines.

Pour rester à la fine pointe de la technologie, l'industrie a déjà fait preuve d'initiative en mettant sur pied des consortiums de R-D tels que l'ACDS et le CCOES. Des initiatives semblables pourraient être prises dans d'autres domaines que l'industrie canadienne juge importants, notamment :

- l'application de nouveaux polymères isolants (le benzocyclobutène, par exemple) comme pellicules isolantes pour les éléments des multipuces qui dépendent de couches isolantes électriques et mécaniques pour assurer une densité, une performance et une productivité d'interconnexion acceptables;
- les problèmes particuliers d'intérêt commun dans le domaine des dispositifs informatiques à grande vitesse utilisant la technologie de l'arséniure de gallium;
- les problèmes particuliers d'intérêt commun dans les circuits intégrés hyperfréquences monolithiques;
- les produits technologiques utiles à deux fins, c'est-à-dire aux marchés commercial et militaire (à mesure que les priorités gouvernementales se déplacent vers des domaines comme l'environnement,

les pressions s'intensifient auprès des entreprises militaires pour qu'elles s'engagent dans cette sorte de production);
- le détecteur opto-électronique;
- tous les aspects de la mise sous boîtier des circuits électroniques[59].

L'industrie de l'électronique et le ministère des Communications ont mis sur pied un projet conjoint, Vision 2000, dans le but d'établir un programme de R-D précommercial dans le domaine des communications personnelles. Certaines priorités de R-D ont déjà été établies. Un grand nombre d'entre elles ont trait aux semi-conducteurs et à la mise au point d'applications. Les membres de Vision 2000 définissent actuellement leur plan de travail et tentent de mettre en place des projets de R-D liés à leur mandat.

En raison de la petite taille du secteur, d'autres projets visant l'ensemble de l'industrie devraient être mis sur pied afin d'assurer la rentabilité des entreprises durant les années 1990.

Réseaux de courtage en technologie pour l'industrie des semi-conducteurs

Afin de bénéficier d'un accès rapide aux entreprises de fabrication mondiales, certains représentants de l'industrie préconisent une approche collective basée sur un ou plusieurs réseaux de courtage régionaux en technologie. Ces réseaux permettraient de :
- regrouper les demandes locales et négocier avec les fonderies;
- constituer une source centrale d'information sur les nouvelles tendances technologiques de conception et de fabrication;
- concevoir ou redessiner les circuits intégrés aux fins de fabrication par les fonderies;
- servir d'intermédiaire avec le monde financier;
- établir des liens avec le monde universitaire afin que ce dernier forme un nombre suffisant d'ingénieurs compétents.

Les avantages de ces réseaux sont nombreux et évidents. Des projets de coopération semblables ont obtenu beaucoup de succès en Europe et en Asie, affirment des universitaires et des industriels. Ces réseaux profiteraient à toutes les entreprises, mais en particulier aux petites sociétés, qui bénéficieraient d'un meilleur accès à l'information commerciale et technologique, à une main-d'œuvre compétente et surtout, aux fonderies du monde entier. Il semble que l'existence de tels réseaux conviendrait spécialement aux domaines de la conception et de la fabrication des semi-conducteurs. Une stratégie différente est recommandée pour l'industrie de la micro-électronique, où les exigences de la stratégie d'application aux systèmes fonctionnels diffèrent considérablement des besoins des semi-conducteurs. La section suivante décrit cette stratégie.

Infrastructure virtuelle : modèle de coopération régionale en micro-électronique

Il est assez facile de convaincre les responsables de l'industrie canadienne de la micro-électronique de collaborer en matière de conception et de mise au point de puces tout en adoptant la méthode d'application aux systèmes fonctionnels. Il est plus difficile cependant pour un grand nombre d'entreprises, en particulier les PME, d'entrevoir la façon d'atteindre ces objectifs.

Les PME canadiennes savent très bien qu'elles ne peuvent investir des montants importants dans leur infrastructure. Elles connaissent les principaux obstacles à l'utilisation efficace de la micro-électronique : manque d'aide dans le domaine de l'innovation, manque de masse critique et incapacité d'obtenir les compétences ou les renseignements voulus au bon moment. L'industrie pourrait

surmonter ces obstacles en adoptant une stratégie locale ou régionale qui favoriserait les services communs et l'établissement de réseaux.

Au centre de cette stratégie, on trouve une infrastructure virtuelle au service de l'industrie, un organisme bipartite composé d'un petit groupe de gestionnaires et de spécialistes chargés de coordonner l'industrie régionale et de servir ses intérêts, c'est-à-dire :

- recueillir et diffuser l'information sur les progrès de la technologie, des applications et des marchés de la micro-électronique;
- apparier les entreprises et les sources d'information (en particulier les universités et collèges communautaires locaux);
- diffuser les outils de conception;
- fournir des équipes de négociation aux fabriques de puces, etc.;
- découvrir les possibilités de formation et les faire connaître (formation technique et formation en gestion);
- aider les entreprises à obtenir des fonds pour couvrir les dépenses extraordinaires d'équipement, de démarrage et d'expansion.

L'existence d'une telle infrastructure offrirait de nombreux avantages aux PME. Elle leur permettrait, entre autres, d'augmenter leur capacité interne et d'élargir leurs connaissances de façon rentable. Elle offrirait également aux grandes entreprises la possibilité de maintenir leur présence au sein d'un réseau local ou régional et d'aider les plus petites entreprises qui démarrent, comme le fait si bien le *keiretsu* japonais.

Afin de servir les entreprises et de coordonner leur travail, cet organisme bipartite devrait présenter les caractéristiques suivantes :

- être ouvert et dynamique;
- être souple, facile d'accès, crédible et capable de s'adapter et de collaborer;
- fournir de façon opportune des renseignements et des ouvertures;
- être convivial;
- être orienté vers les affaires et obtenir l'appui des utilisateurs;
- fournir une rétroaction aux utilisateurs et aux partenaires.

L'Europe et les États-Unis utilisent de plus en plus cette méthode afin de stimuler la croissance économique régionale, celle des PME en particulier. Au Canada, la proposition du Conseil des sciences recommandant que Montréal se dote d'une infrastructure virtuelle au service de l'industrie de la micro-électronique a été bien accueillie. Un plan d'action est déjà à l'étude[60]. Une infrastructure virtuelle bien pensée et appuyée convenablement par l'industrie, ses partenaires et le gouvernement pourrait parvenir à faire fonctionner le secteur de l'électronique de façon indépendante.

Politiques et interventions gouvernementales

Le gouvernement peut aider l'industrie de diverses façons. Il pourrait, en premier lieu, prendre l'initiative de promouvoir la diffusion de technologies spécialisées dans le domaine des semi-conducteurs, comme celle des CIPA. En aidant les entreprises de taille moyenne à adopter de nouvelles techniques de pointe pour concevoir des CIPA, il pourrait accélérer le taux d'adoption de ces circuits et procurer des avantages à long terme au secteur informatique. Ensuite, les différents échelons de gouvernement pourraient fournir aux entreprises du secteur un soutien financier et une aide sur le plan de l'infrastructure. Cette aide pourrait prendre plusieurs formes : établissement d'infrastructures virtuelles locales ou régionales dans le secteur de la micro-électronique, adoption de l'initiative stratégique en matière de micro-électronique et mise sur pied de réseaux de courtage en technologie. Le gouvernement pourrait également s'assurer qu'un nombre suffisant d'ingénieurs soit formé en

conception de semi-conducteurs et en leur application aux différents systèmes informatiques. Enfin, le gouvernement devrait examiner les mesures de stimulation du capital de risque et mettre en place un système d'encouragement semblable à celui des États-Unis, qui reconnaisse les limites de l'aide directe apportée aux industries canadiennes de technologie de pointe.

Annexe — Cadre d'analyse des stratégies en matière de technologie

Dans le cadre de la méthode d'analyse de chaque secteur, le Conseil des sciences du Canada a cherché, dans la mesure du possible, à évaluer les stratégies des entreprises en matière de technologie conformément au schéma suivant :

produit			
procédé			
	adoption et adaptation	innovation	percée

Catégories de stratégies

Adoption et adaptation : Acquérir une technologie et l'adapter afin de s'en servir pour soutenir la concurrence.

Innovation : Améliorer progressivement la technologie gagnante afin d'obtenir une plus grande part du marché ou de conserver son avantage concurrentiel.

Percée : Chercher à créer une discontinuité sur le marché et, par ce moyen, devancer les concurrents.

Les études de cas d'entreprises ont généralement porté sur au moins sept paramètres clés qui influent sur la stratégie d'une entreprise en matière de technologie :

- trois paramètres internes :
  - la position concurrentielle,
  - la capacité d'innover,
  - la stratégie et la vision;
- quatre paramètres externes :
  - les demandes du client,
  - la rivalité concurrentielle,
  - les conditions d'approvisionnement,
  - la technologie disponible.

La méthode prévoyait aussi essentiellement un processus en trois étapes pour chaque secteur. Dans la première étape, un ou plusieurs entrepreneurs ont analysé les éléments principaux de la compétitivité et de la performance en matière de R-D du secteur canadien et de ses principaux concurrents étrangers. La deuxième étape comprenait l'évaluation du ou des rapports préparés à contrat, la discussion avec les entrepreneurs et autres experts, une recherche maison supplémentaire et la préparation d'une ébauche de rapport du Conseil. Au cours de la troisième étape, des spécialistes de l'extérieur ont formulé des observations sur l'une ou sur plusieurs des ébauches du rapport du Conseil,

qui ont alors été révisées et raffinées au besoin, à la suggestion de la personne ressource de ce secteur au sein du comité chargé du projet (*voir* les remerciements). Pour certains secteurs, la troisième étape comptait aussi la participation de plusieurs spécialistes de l'extérieur dans le cadre d'un petit atelier de travail, dont une partie a permis de définir certains éléments d'un plan d'action possible pour le secteur. Le rapport a ensuite été soumis pour approbation finale au Comité de direction du Conseil des sciences, avant d'être envoyé à Industrie, Sciences et Technologie Canada.

Notes

1. François Bar *et al.*, «The evolution and growth potential of electronics-based technologies», *STI Review 5*, avril 1989, pp. 7-58.

2. *Ibid.*, p. 11.

3. Rapport du Fonds de technologie du Conseil du Premier ministre de l'Ontario, *Competing in the New Global Economy*, vol. 1, Toronto, 1987.

4. Bar *et al.*, *op. cit.*, p. 12; et Daniel Todd, *The World Electronics Industry*, New York, 1990, p. 2.

5. Bar *et al.*, *op. cit.*, p. 17.

6. Peter Thorne, «The electronics market: The CEE annual survey of Canadian and world electronics trends», *Canadian Electronics Engineering*, septembre 1989, pp. 23-26.

7. Bar *et al.*, *op. cit.*, pp. 12 et 14.

8. *Ibid.*, pp. 14 et 15.

9. Thorne, *op. cit.* pp. 23 et 24.

10. Statistique Canada, *Statistiques sur la recherche et le développement industriels, 1988*, Ottawa, octobre 1990, p. 66; Thorne, *op. cit.*, p. 23.

11. Statistique Canada, *op. cit.*, p. 64.

12. *Ibid.*, p. 76.

13. Thorne, *op. cit.*, p. 24.

14. NBI/Datapro, «*The role of R&D in the world's telecommunications industry*», rapport par le Conseil des sciences du Canada, 1989 (inédit).

15. Canadian Microelectronics Action Committee, *Report of the Canadian Microelectronics Action Committee* (CMAC), 14 février 1990, p. 6.

16. Christian Vérié, «The potential impacts of new semiconductor materials», *STI Review*, n° 6, décembre 1989, p. 93.

17. Frost and Sullivan, Inc., *Electronic Warfare (EW) Market*, vol. I et II, New York, printemps 1989.

18. Frost and Sullivan, Inc., *Industrial Laser Market 1990*, New York, 1990, p. 21.

19. Beppi Crosarol, «Tech firms in the chips», *Financial Times of Canada*, 10 septembre 1990, p. 4.

20. Mike Hobday, «Semiconductors: Creative destruction or US industrial decline?», *Futures*, juillet-août 1990, pp. 571-585.

21. A.M. Prophet, directeur adjoint, Dataquest, lors des 3e exposition et séminaire annuels IEEE ASIC, 17-21 septembre 1990.

22. Richard Florida et Martin Kenney, *The Breakthrough Illusion: Corporate America's Failure to Move from Innovation to Mass Production*, New York, 1990, p. 4

23. *Ibid.*, pp. 144 et 145.

24. *Ibid.*, p. 144.

25. *Ibid.*, p. 33.

26. MIT Commission on Industry Productivity Working Paper, vol. 2, président D.D. Clausing, 1989.

27. Stephen Gates, «Semiconductor firm strategies and technological cooperation: A perceived transaction cost approach», *Journal of Engineering and Technology Management*, n° 6, 1989, pp. 117-144.

28. *The Economist*, 23 février 1991, p. 66.

29. Michael Hobday, «Strategies for the U.K. semiconductor industry: Lessons from the Alvey Program», *Technovation*, vol. 10, n° 3, 1990, p. 200.

30. Crosarol, *op. cit.*, p. 4.

31. Gennum, par exemple, utilise une technologie au silicium de quatre micromètres.

32. NGL Consulting Ltd. *et al.*, *A Proposal towards a Strategic Plan for the Canadian Telecommunications Equipment Industry*, préparé pour le Canadian Telecommunications Action Committee, janvier 1991.

33. Florida et Kenney, *op. cit.*, p. 134.

34. *Voir* Janet E. Halliwell, «Technologies of the Future», exposé inédit présenté à des cadres supérieurs au cours d'un atelier intitulé «Competitiveness in the Electronics Industry — Perspectives on Microelectronics», Montréal, 27 mars 1991.

35. K.Y. Ho, «In conversation», *Computing Canada*, n° 17, 11 avril 1991, p. 11.

36. Christine Weldon, «Divide and conquer», *Canadian Business*, n° 62, août 1989, pp. 21-22.

37. Ho, *op. cit.*, p. 8.

38. *Voir* Fred Moody, «Mr. Microsoft», *New York Times Magazine*, 25 août 1991, pp. 26-30, 54, 56, 59.

39. Hobday, *op. cit.*, p. 585.

40. Halliwell, *op. cit.*, p. 8.

41. Tom Woods, The Technology Research Group, lettre à R. Clayton, 30 août 1990.

42. CMAC, *Business Plan for a Strategic Microelectronics Initiative*, octobre 1990.

43. Sharon Hobson, «Many chances for Canadian firms to profit from peace», *Financial Post*, 24 octobre 1990, p. 21.

44. Philip Klass, «Gulf War highlights benefits, future needs of EW systems», *Aviation Week and Space Technology*, 21 octobre 1991, p. 34.

45. U.S. Department of Defense, *Critical Technologies Plan*, Washington, D.C., mars 1990, p. A17.

46. Approvisionnements et Services Canada, *Étude de l'industrie du matériel de défense, 1987*, *Industrial Support for Canada's Defence*, Ottawa, 1987, p. 17.

47. U.S. Congress, Congressional Budget Office, *The Benefits and Risks of Federal Funding for Sematech*, Washington, D.C., septembre 1987, p. xvii.

48. Venture Economics Canada Limited, *Creating threshold technology companies in Canada: The role for venture capital*, rapport préparé par le Conseil des sciences du Canada, 1991 (inédit).

49. *Ibid.*

50. *Ibid.*

51. Byung-Moon Byun et Byong-Hun Ahn, «Growth of the Korean semiconductor industry and its competitive strategy in the world market», *Technovation*, n° 9, 1989, pp. 652-653.

52. CMAC, *op. cit.*

53. «BC firm says FTA opened doors to US R&D group», *Research Money*, n° 4, 12 septembre 1990; Leslie Ellis, «U.S. semi-conductor research consortium opens doors to Canadian firms», *EP&T*, novembre-décembre 1990; Semiconductor Research Corporation, *1990 Annual Report*, Research Triangle Park, N.C., 1991; Martin Hanssmann, directeur des ventes internationales, Techware Systems Corporation, communication personnelle, 1er août 1991.

54. «Born again in Oromocto», *Profit*, décembre 1990, p. 20.

55. Ellis, *op. cit.*

56. Séminaire tenu à ISTC, Ottawa, le 31 juillet 1991.

57. Bob Johnstone, «Reinventing research: US consortiums mimic Japanese organizations», *Far Eastern Economic Review*, 24 mai 1990, pp. 68-69.

58. *Voir* Florida et Kenney, *op. cit.*, p. 175 pour obtenir de plus amples renseignements sur les partenariats étrangers.

59. NGL Consulting Ltd., *Opportunities in Advanced Materials in the Electronics Industry*, rapport préparé pour la Société de développement économique d'Ottawa-Carleton, ville d'Ottawa, 1989.

60. Halliwell, *op. cit.*